

**Магістерська робота Ярмакович С.О.**

спеціальність \_\_208\_\_ Агроінженерія

**Для перевірки на плагіат**

**Тема** «Удосконалення процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах».

Науковий керівник – Скрипник В.О.

Кафедра технології та обладнання переробних і харчових виробництв

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота виконана на тему: «Удосконалення процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах».

Магістерська робота складається з пояснювальної записки, що містить 75 сторінки, 37 рисунків, 9 таблиць, і 12 слайдів презентації.

Метою роботи є удосконалення процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах шляхом обґрунтування його технологічних, конструктивних і техніко-економічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі дослідження:

1) на основі аналізу літературних джерел обґрунтувати фактори інтенсифікації процесу обжарювання м'яса, в т.ч. і з використанням вакуумних термопакетів;

2) розробити аналітичну модель процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах;

3) дослідити вплив параметрів процесу обжарювання м'яса у вакуумних термопакетах на його техніко-економічні показники;

4) визначити раціональні параметри процесу обжарювання м'яса в вакуумних термопакетах.

5) визначити якість виробів з м'яса за удосконаленим процесом обжарювання з використанням вакуумних термопакетів;

6) запропонувати технічне рішення реалізації удосконаленого процесу обжарювання м'яса у вакуумних термопакетах;

7) визначити техніко-економічні показники удосконаленого процесу обжарювання м'яса у вакуумних термопакетах.

**Об'єкт дослідження** – процес обсмажування м'яса, в т.ч. у вакуумних термопакетах.

**Предмет дослідження** – напівфабрикати з м'яса яловичини, готові вироби після обжарювання за удосконаленим процесом у вакуумних термопакетах, апарати для обжарювання харчової сировини.

В основу методів теоретичних досліджень покладено основні положення теорії процесів і апаратів харчових і переробних виробництв та технології переробки м'яса.

Експериментальні дослідження проводили як за стандартними, так і за розробленими методиками з використанням сучасного обладнання та ПЕОМ.

Практичне значення одержаних результатів полягає в:

- розробці пристрою для визначення структурно-механічних параметрів напівфабрикатів і готових виробів з м'ясної сировини;
- розробці схеми виробництва обжарених виробів з м'яса у вакуумних термопакетах;
- розробці схеми апарату для реалізації удосконаленого процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах.

Ключові слова: М'ЯСО, ОБЖАРЮВАННЯ, ВАКУУМНІ ТЕРМОПАКЕТИ, ПРОЦЕС ОБЖАРЮВАННЯ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В Україні щороку спостерігається зменшення поголів'я сільськогосподарських тварин, що зумовлює збільшення їх імпорту з країн Європи, Північної і Південної Америки і країн Східної Азії. Так, у січні-серпні 2021 року Україна імпортувала 21,2 тис. т свинини, що у грошовому еквіваленті на 20% більше, ніж за аналогічний період минулого року. Вартість такої сировини нижча за вітчизняну, а її якість – невисока. Крім того, не виключена можливість наявності в імпортованій м'ясній сировині вірусу сказу і слідів генно-модифікованих організмів (ГМО) через використання кормів із ГМО.

Зменшення поголів'я зумовлює більш повне використання м'ясної сировини, для чого розробляються нові методи механічної і термічної обробки м'ясної сировини. Розробка удосконаленого процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах, за якого покращаться його техніко-економічні показники і досягнеться більш повний ступінь її переробки та достатня якість готових продуктів, є актуальною задачею.

**Метою роботи** є удосконалення процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах шляхом обґрунтування його технологічних, конструктивних і техніко-економічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі дослідження:

1) на основі аналізу літературних джерел обґрунтувати фактори інтенсифікації процесу обжарювання м'яса, в т.ч. і з використанням вакуумних термопакетів;

2) розробити аналітичну модель процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах;

3) дослідити вплив параметрів процесу обжарювання м'яса у вакуумних термопакетах на його техніко-економічні показники;

4) визначити раціональні параметри процесу обжарювання м'яса в вакуумних термопакетах.

5) визначити якість виробів з м'яса за удосконаленим процесом обжарювання з використанням вакуумних термопакетів;

6) запропонувати технічне рішення реалізації удосконаленого процесу обжарювання м'яса у вакуумних термопакетах;

7) визначити техніко-економічні показники удосконаленого процесу обжарювання м'яса у вакуумних термопакетах.

**Об'єкт дослідження** – процес обсмажування м'яса, в т.ч. у вакуумних термопакетах.

**Предмет дослідження** – напівфабрикати з м'яса яловичини, готові вироби після обжарювання за удосконаленим процесом у вакуумних термопакетах, апарати для обжарювання харчової сировини.

В основу методів теоретичних досліджень покладено основні положення теорії процесів і апаратів харчових і переробних виробництв та технології переробки м'яса.

Експериментальні дослідження проводили як за стандартними, так і за розробленими методиками з використанням сучасного обладнання та ПЕОМ.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- на основі аналітичних досліджень обґрунтовано фактори інтенсифікації процесу обсмажування у вакуумних термопакетах;

- встановлено раціональні параметри процесу обсмажування м'яса у вакуумних термопакетах;

- розроблений нова методика визначення структурно-механічних параметрів напівфабрикатів і готових виробів з м'ясної сировини.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у:

- розробці пристрою для визначення структурно-механічних параметрів напівфабрикатів і готових виробів з м'ясної сировини;

- розробці схеми виробництва обжарених виробів з м'яса у вакуумних термопакетах;

- розробці схеми апарату для реалізації удосконаленого процесу обжарювання м'ясної сировини у вакуумних термопакетах.

## 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Споживчі властивості м'яса

М'ясо для людини є одним із самих головних джерел білків та жирів. Вміст в м'ясі білків сягає, в середньому, 11...20%, а вміст жирів, в залежності від віку, статі, породи і вгодованості, коливається в межах 1...50%. Крім того, м'ясо є джерелом мінеральних речовин, вуглеводів, ферментів, екстрактивні речовини та ін. [1].

На відміну від білків рослинного походження переважна більшість білків в м'ясі повноцінна. За анатомічним складом повноцінні білки знаходяться переважно в м'язах. Основні з них – міозин, актин, актоміозин, міоглобін, глобулін. Міоглобін забарвлений пурпурно-червоним кольором, чим обумовлюється забарвлення м'язової тканини [2].

У складі тваринних білків міозин становить близько 40%, міоген – 20%, міоальбумін – 2%, інші – менше 1%. В процесах прижиттєвої м'язової активності міозин і міоген виконують роль ферментів, що прискорюють реакції. Міоглобін за складом наближений до гемоглобіну крові і в поєднанні з киснем утворює оксіміоглобін, чим забарвлює м'язи в яскраво-червоний колір.

До сполучнотканинних білків відноситься колаген, еластин і ретикулін. Основою сполучної тканини м'яса є колаген, який входить до складу колагенових волокон. В оболонках кровоносних судин, структурі хрящів і в пухкій сполучній тканині міститься еластин. Ретикулін міститься в тих же структурах, але в меншій кількості. Сполучнотканинні білки (колаген, еластин і ретикулін) є неповноцінними.

Основним показником якості жирів є їх засвоюваність організмом людини, яка залежить, в першу чергу, від температури плавлення. Баранячий жир є найбільш тугоплавким, відповідно, засвоюваність його менша і складає 90%; яловичий жир має засвоюваність 94%, а свинячий жир – 97% [3].

Вміст жиру впливає на харчову цінність та калорійність м'яса, підвищуючи їх, і, в переважній більшості, покращує органолептичні показники виробів з м'яса (смак, консистенцію, ніжність).

Властивості жиру, такі як температура плавлення, консистенція та засвоюваність організмом людини, залежать від виду жирних кислот, що входять у його склад. В складі тваринних жирів міститься майже 30% високомолекулярних насичених жирних кислот. В баранячому жирі їх міститься найбільше, тому його засвоюваність – низька, консистенція – більш тверда, а температура плавлення – більш висока (317...328 К).

Окрім вищеназваних речовин в склад м'яса входять вуглеводи (близько 1%), які, в основному, представлені глікогеном [4]. Глікоген – так званий «тваринний крохмаль» – є запасною живильною речовиною і накопичується в печінці, В м'язовій тканині його міститься менше 1% і він відіграє велику роль в процесі дозрівання м'яса.

Мінеральні речовини у складі м'яса складають від 0,8 до 1,3% [4]. Вони беруть участь в обміні речовин в організмі та побудові клітин тканин у вигляді фосфорнокислих, вуглекислих, хлористих і сірчанокислих солі калію, натрію, магнію та ін. Сполуки заліза відіграють велику роль, позаяк входять до складу гемоглобіну крові і беруть участь в процесах транспортування кисню в клітини організму.

Макроелементи м'яса представлені натрієм, калієм, фосфором, хлором, магнієм, кальцієм та залізом. Калій і фосфор мають найбільшу питому вагу в сукупності макроелементів.

В м'ясі різних видів тварин міститься 50...75% води, щої залежить від вгодованості, статі, віку тварини і виду м'язів. Чим більший вміст жиру в м'ясі, тим менший вміст в ньому води. У м'язовій тканині молодих тварин води міститься більше, ніж в м'ясі дорослих тварин. Високий вміст води сприяє швидкому псуванню м'яса і знижує його харчову цінність.

В м'язовій тканині містяться незначній кількості водорозчинні вітаміни групи В, Н і РР і жиророзчинні – А, D, Е [2].

В сирій м'язовій тканині в невеликій кількості (до 3,5%) містяться екстрактивні речовини в м'ясі, які під час теплової обробки у водному середовищі переходять у розчин і обумовлюють його специфічний смак і аромат. Екстрактивні

речовини під час вживання м'ясних страв викликають апетит та сприяють кращому засвоєнню їжі. Вони поділяються на азотисті і безазотисті.

Ферменти – це білкові сполуки, які виробляються клітинами організму, регулюють обмін речовин та здатні викликати глибокі зміни інших речовин [6].

Енергетична цінність залежить від виду, статі, вгодованості і віку тварин і складає 105...489 ккал.

У м'язовій тканині після забою тварини під час зберігання відбуваються необоротні зміни, що поділяються на три стадії: посмертне задубіння, дозрівання і псування. Дозрівання м'яса пов'язане з його розм'якшенням і настає через 18...24 годин залежно від температури зберігання. М'язова тканина ВРХ за температури 273 К дозріває протягом 12...14 діб, МРХ – за коротші терміни; наприклад баранина – за тієї ж температури – за 8 діб.

Державна служба статистики на 01.10.2021 р. наводить наступну кількість поголів'я ВРХ, свиней, овець і кіз, а також свійської птиці в порівнянні з 31.12.2020 р. (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Кількість сільськогосподарських тварин на 1 жовтня 2021 р. в Україні (тис. голів)

Вид тварин	Господарства усіх категорій			Підприємства			Господарства населення		
	2021 <sup>1</sup>	2020 <sup>1</sup>	%	2021	2020	%	2021	2020	%
Велика рогата худоба	3109,6	3333,2	93,3	1003,5	1015,2	98,8	2106,1	2318,0	90,8
у т.ч. корови	1644,9	1748,4	94,1	421,7	422,3	99,9	1223,2	1326,1	92,2
Свині	6068,3	6171,1	98,3	3707,1	3578,8	103,6	2361,2	2592,3	91,1
Вівці та кози	1296,8	1369,5	94,7	162,0	150,9	107,4	1134,8	1218,6	93,1
Птиця свійська	234035,4	238438,5	98,2	118361,3	120359,2	98,3	115674,1	118079,3	97,9

<sup>1</sup> Дані наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

Як видно з табл. 1, поголів'я сільськогосподарських тварин за 9 місяців 2021 р. скоротилося за всіма їх видами. Поголів'я ВРХ в Україні на 01.10.2021 р. становить 3,109 млн. голів, що на 6,7% нижче за поголів'я на 31.12.2020 р., в т.ч. корів – у 1,645 млн. голів (-5,9%). Зниження чисельності ВРХ у порівнянні з показниками річної давності зафіксовано як у сільськогосподарських підприємствах – на 1,2%, до 1,004 млн. голів, так і в господарствах населення – на 9,2% до 2,106 млн. голів. Поголів'я овець і кіз в Україні на початок жовтня скоротилося на 5,3% (до 1,297 млн. голів), свійської птиці – на 1,7% (до 234,035 млн. голів). Також зафіксовано скорочення чисельності свиней – на 0,1% у порівнянні з торішнім рівнем, до 6,068 млн. голів. [7].

Зменшення поголів'я сільськогосподарських тварин зумовлює збільшення їх імпорту з країн Європи, Північної і Південної Америки і країн Східної Азії.

Так, у січні-серпні 2021 року Україна імпортувала 21,2 тис. т свинини, що у грошовому еквіваленті на 20% більше, ніж за аналогічний період минулого року. Вартість імпортованого м'яса нижча за вітчизняну, а його якість – невисока. Крім того, не виключена можливість наявності в імпортованому м'ясі вірусу сказу і слідів генно-модифікованих організмів (ГМО) через використання кормів із ГМО.

Зменшення поголів'я зумовлює використання м'яса другого сорту з ВВСТ, для якого розроблюються нові методи оброблення і нові види термічного оброблення.

Структурними елементами сполучної тканини є колагенові, еластинові та ретикулінові волокна з міжклітинною основною речовиною. Сполучна тканина є основою строми та міжклітинної речовини м'язів, входить до складу паренхіматозних органів, підшкірної клітковини, сухожиль, хрящів, кісток, стінок кровоносних, лімфатичних та інших судин, кишок та ін. Вона значною мірою виконує механічні й захисні функції, бере участь у побудові і фізіологічному функціонуванні тканин, сполученні їх між собою, з'єднує окремі тканини зі скелетом тощо [1].

Колагенові та еластинові волокна зумовлюють жорсткість як сполучної тканини, так і органів, до складу яких входить сполучна тканина (м'язів, легенів та

ін.). Залежно від міцності волокон та вмісту міжклітинної основної речовини сполучну тканину поділяють на пухку, щільну і еластинову [8].

Пухка сполучна тканина - це сітчаста волокниста структура з міжклітинною речовиною. Вона входить до складу всіх тканин, органів, є між органами і в підшкірній клітковині. Крім волокон пухка сполучна тканина містить міжклітинну речовину з клітинами і ядрами. Деякі ділянки пухкої сполучної тканини містять значну частину жирових клітин (сальник, міжм'язовий жир).

Щільна сполучна тканина містить розміщені щільно і паралельно товсті колагенові волокна. Вона є основою сухожиль м'язів, з'єднань суглобів, зв'язки і фасції.

Еластична сполучна тканина складається переважно з товстих еластинових волокон і входить до складу шийно-потиличної зв'язки, пахвини і кровноносних судин.

Суша маса сполучної тканини містить до 40 % білків і до 30 % міжклітинної основної речовини.

Найхарактернішими компонентами сполучної тканини є специфічні білкові речовини, головним чином структурні білки - склеропротеїни: колаген, еластин, ретикулін, що утворює міцні й еластичні волокнисті структури [9]. Особливість білків цієї групи полягає в подовженій формі молекули, зумовленій паралельно розташованими поліпептидними ланцюгами. До складу елементарних речовин сполучної тканини входять специфічні білкові муцини і мукоїди, які відрізняються від інших склеропротеїнів за будовою і фізико-хімічними властивостями. У сполучній тканині в меншій кількості містяться також інші білки - альбумін, глобулін, нуклеопротеїди.

Під час нагрівання колаген з водою гідролізується на глютин і желатин [10]. Він становить близько 30 % від усіх білків тваринного організму. Колаген входить до складу пухкої і щільної сполучної, кісткової, хрящової і покривної тканин, бере участь в утворенні сухожиль, зв'язок, фасцій.

Залежно від анатомічного походження колаген поділяють на волокнистий (у дермі і сухожиллях), гіаліновий (у кістковій тканині осейн), хондриновий (у складі

хрящів), іхтуліновий (у складі рибного міхура). Іхтуліновий колаген переходить у клей вже за температури 313 К.

За допомогою електронної мікроскопії встановлено, що колагенові волокна побудовані із фібрил різного діаметра, які мають поперечне окреслення [2]. Фібрили побудовані з макромолекул колагену - тропоколагену. Тропоколаген складається з трьох поліпептидних ланцюгів, що утворюють потрійну спіраль діаметром близько 1,5 нм і завдовжки близько 300 нм. Кожен ланцюг складається з 1000 амінокислот і має молекулярну масу 1200. Структура макромолекули стабілізується водневими зв'язками між пептидними групами сусідніх ланцюгів. Особливості взаєморозташування молекул тропоколагену, зв'язаних кінець з кінцем і пліч-о-пліч, визначають характер будови фібрил. У результаті такої агрегації молекул тропоколагену утворюється четвертинна структура колагену - протофібрили, що мають поперечне окреслення. Протофібрили об'єднуються у фібрили.

Специфіка структури тропоколагену визначається особливістю його амінокислотного складу [11]. Приблизно 33 % амінокислотних залишків макромолекул колагену становить гліцин, 21 % - пролін і оксипролін, 11 % - аланін. У колагені немає триптофану, цистину, цистеїну, мало метіоніну і тирозину.

Наявність у небагатьох білках оксипроліну дає змогу за вмістом цієї амінокислоти робити висновок про кількість колагену в м'ясі.

Особливості будови колагенових волокон визначають їх високу здатність до набухання і велику механічну міцність, що, в свою чергу, впливає на консистенцію м'яса [9]. Нативний колаген не розчиняється у воді, проте має здатність до набухання. Він стійкий до дії пепсину і трипсину, підлягає гідролізу в присутності колагенази підшлункової залози. Колаген може перетворюватися на легкозасвоювані поліпептиди у результаті гідролізу в присутності деяких рослинних ферментів. Під дією альдегідів відбувається дублення колагену, тобто утворення між пептидними ланцюгами метиленових містків, що підвищує його механічну міцність, стійкість під час нагрівання в присутності води і впливу протеолітичних ферментів.

Термічне оброблення призводить до дезагрегації макромолекул колагену, характер яких залежить від температури і тривалості нагрівання.

За помірного термічного впливу колаген «зварюється» внаслідок порушення частини видимих зв'язків у середині пептидних ланцюгів. Зміни їх взаєморозташування у триспиральній структурі тропоколагену супроводжується її розпушенням, підвищенням гідратації системи і збільшенням доступних пептидних зв'язків дії протеаз.

Підвищення температури (до 363 К) і збільшення тривалості нагрівання зумовлюють гідротермічний розпад тропоколагену на складові макромолекули - пептиди в результаті руйнування водневих зв'язків між ними [2]. Продукт дезагрегації колагену - глютин - інтенсивно набухає у воді й за температури 313 К переходить у розчин, зниження температури якого супроводжується утворенням драглів.

Глютин легко перетравлюється протеолітичними ферментами. Подальше нагрівання за підвищених температур приводить до гідролізу пептидних зв'язків з утворенням низькомолекулярних продуктів - глютоз (желатоз). Під час цього може відбуватися їх взаємодія з утворенням нових сполук.

Наявність глютоз знижує гідратацію системи і негативно впливає на драглеутворення (знижується міцність драглів). Отже, характер змін колагену під час термічного оброблення м'ясної сировини може істотно впливати на якість готових виробів – їх консистенцію, вологоутримуючу здатність, перетравлюваність колагену ферментами травного каналу.

Еластин входить до складу еластинових волокон, що мають жовтувате забарвлення, які зовсім не подібні до колагенових [9]. Вони безструктурні, здатні розгалужуватися і з'єднуватися між собою. Довжина еластинових волокон на відміну від колагенових під час розтягування може збільшуватися вдвічі.

Еластинові волокна побудовані із сферичних молекул. Еластин - неповноцінний білок. Цей білок містить специфічні амінокислоти (десмозин і ізодесмозин), які беруть участь в утворенні поперечних зв'язків. Еластин дуже стійкий. Він не розчиняється в холодній і гарячій воді, має високу стійкість до дії

кислот і лугів. На відміну від колагену він не змінюється під час нагрівання. Еластин не перетравлюється трипсином і хімотрипсином, але повільно гідролізується пепсином за рН 2,0. Продукована підшлунковою залозою еластаза, а також рослинні ферменти – фіцін, папаїн – зумовлюють протеоліз еластину.

За амінокислотним складом еластин дещо подібний до колагену завдяки наявності у ньому оксипроліну гліцину і проліну, дуже низькому вмісту гістидину, триптофану, цистеїну. Загальна частка гліцину, аланіну, валіну та проліну в еластині становить майже 70 % амінокислот.

На міжклітинну основну речовину припадає до 30 % сухої маси сполучної тканини [10]. Зміна складу сполучної тканини залежить від віку тварин, що позначається на структурно-механічних властивостях сполучної тканини та її змінах під впливом зовнішніх факторів.

З фізіологічного і технологічного погляду наявність у м'ясі до 10...15 % сполучної тканини є позитивним.

У ковбасному і консервному виробництві колагеновмісну сировину найефективніше можна використовувати у вигляді білкових стабілізаторів, емульсій або як попередньо облагороджений компонент рецептур низькосортних м'ясних виробів, переважно із субпродуктів.

М'ясо вважається готовим за перетворення 45 % колагену в глютин [3]. Під час цього зв'язок між колагеновими волокнами послаблюється і м'ясо розм'якшується. Тривалість розм'якшення залежить від кількості колагену і його стійкості до дії тепла. На стійкість колагену впливають різні фактори: порода, вік, угодваність, стать тварин тощо. Частина м'яса, які містять нестійкий колаген, розм'якшуються за 600...900 с, стійкий – за  $(72...108) \cdot 10^2$  с. Процес переходу колагену в глютин починається за температури понад 323 К і особливо швидко відбувається за температури вище 373 К.

Під час смаження м'ясо, що містить стійкий колаген, залишається твердим, оскільки волога з нього випаровується швидше, ніж відбувається перехід колагену у глютин. Колагенові волокна під час цього стають коротшими наполовину, а шматочки м'яса деформуються. Тому для смаження використовують м'ясо, що

містить нестійкий колаген. Перед смаженням шматочки його відбивають, роблять надсічки, перерізують сполучну тканину, щоб запобігти деформації [12].

## **1.2. Аналіз способів термічної обробки виробів з м'яса з великим вмістом сполучної тканини**

Одним із важливих факторів під час термічного оброблення, що обумовлює кулінарну готовність продуктів із м'яса, є розм'якшення сполучної тканини [13]. Під час цього важливого значення набувають зміни з одним із білків сполучної тканини, а саме колагеном, оскільки еластин та ретикулін за дії відомих способів термічного оброблення м'ясопродуктів практично не зазнають значних змін. За дії теплоти та вологи колаген переходить у водорозчинний глютин, що викликає зниження механічної міцності сполучної тканини та ослаблення зв'язку поміж м'язовими волокнами та пучками. Це має важливе значення, оскільки глютин добре перетравлюється протеолітичними ферментами та добре розчиняється у воді. Як свідчать дані [14, 15], опір розрізуванню знижується приблизно в десять разів.

Технологію жарення м'яса з ВВСТ запропоновано авторами [16]. За цією технологією для напівфабрикату з м'яса з ВВСТ визначається граничний тиск, напівфабрикат розміщується у функціонально замкненому об'ємі (ємності) і піддається двосторонньому жаренню під граничним для напівфабрикату тиском за умов нежорсткої фіксації поверхонь жарення і окремого регулювання температури поверхонь жарення 433 К. Готовий продукт за розробленою технологією цілком придатний до споживання.

Результати дослідження двостороннього жарення виробів з натурального м'яса в умовах імпульсного стиснення [17] показали, що за співвідношення тривалості прикладання та скидання зусилля стиснення 1с/1 с дозволяє на 18% скоротити тривалість процесу та на 4,82% підвищити вихід готового продукту порівняно з двостороннім жаренням під граничним для напівфабрикату тиском.

Проведені дослідження [10, 18] показали, що швидкість гідролізу колагену залежить не від його хімічної природи, а від інших факторів і передусім від морфологічної будови сполучної тканини м'яса. Сполучна тканина в м'язах кінцівок

складається з крупних та грубих утворень, в яких колагенові волокна переплітаються з більшою кількістю еластинових і меншою – ретикулінових волокон. Навпаки, в м'яких сортах м'яса (товстий та тонкий край, вирізка) сполучна тканина являє собою тонку та ніжну сітку, що складається переважно з колагенових волокон. Крім того, гідроліз колагену стає значним тільки за жорстких режимів термічного оброблення, а під час жарення та варення в звичайних умовах підвищення температури та тривалості нагрів у більшій мірі, ніж гідроліз колагену, сприяє агрегації м'язових білків, що призводить до усадки в шматку м'яса та виділення з нього соку.

Результати досліджень [19] показали, що трьохголовий плечовий та напівсухожильний м'язи набувають оптимальної консистенції за розпаду колагену в середньому 25...45% до загального його вмісту. Тому для цього типу м'язів основним фактором, що зумовлює кулінарну готовність м'яса, є гідроліз колагену.

Відомо, що кількість води, яка знаходиться в м'ясі на початку термічного оброблення, та кількість утраченої води в кінці процесу відображується на швидкості розварювання колагену. Цілу м'язову тканину з незруйнованою структурою можна охарактеризувати як дисперсну колоїдну систему коагуляційного типу [20], в якій частина води утримується внаслідок високого осмотичного тиску та структури матеріалу. Відомо [21], що м'язова тканина містить 0,35...0,40 кг води на 0,10 кг білка, але лише близько 0,04 кг води міцно зв'язані. Решта води іммобілізована у внутрішньоклітинному та міжклітинному просторах. Вважається, що невелика кількість води зв'язана з білками, а основна її маса за властивостями подібна вільній воді. Тому особливого значення набуває розробка способів термічного оброблення м'яса, за яких утрати нативної води продуктом були б найменші, що в свою чергу буде сприяти гідролізу колагену в більшій мірі для м'яса з ВВСТ.

Оскільки під час традиційного жарення відбуваються значні втрати води, її кількість, що залишається в м'ясі під час термічного оброблення, недостатня для проведення гідролізу колагену в тому ступені, за якого настає кулінарна готовність м'яса з ВВСТ.

Серед технологічних факторів, що впливають на швидкість перетворення колагену в глютин, найбільш важливими є температура, тривалість теплової дії, вода та реакції середовища [22].

За даними [23] зварювання колагену супроводжується поглинанням  $(8,5...22,5) \cdot 10^3$  Дж/кг теплоти внаслідок руйнування водневих зв'язків, а теплоємність звареного та незвареного колагену складає близько 1700 Дж/кг в інтервалі температур 293...343 К. Крім того, явище зварювання колагену слід розглядати як процес денатурації фібрилярного білку. Також установлений зв'язок поміж температурою зварювання колагену та вмістом у його структурі оксипроліну: чим більший його вміст, тим більша температура зварювання.

Дослідження [24] свідчать, що гідротермічна стійкість колагену внутрішньом'язової сполучної тканини зі збільшенням віку тварини збільшується. Так під час жарення в рівних умовах у м'ясі молодняка розпад колагену в середньому складає 43% (коливання 29,2...52,3%), а в м'ясі 8...10-річних тварин – усього лише 22% (коливання 13...28%).

Дослідження якісних показників м'яса яловичини [25] вказують на те, що такі технологічно важливі показники як рН, ніжність і вологоутримуюча здатність значною мірою залежать від віку тварини. Встановлено, що ніжність пов'язана з соковитістю та смаком м'яса. Як правило ніжне м'ясо – соковите, але не завжди смачне. В сухому м'ясі істотного зв'язку поміж ніжністю і смаком не спостерігається. Жорстке м'ясо хоча і менш соковите, але оцінка за смаком може варіювати в великих межах.

У дослідженнях [26] було проведено кореляційний аналіз поміж органолептичними показниками і фізико-хімічними характеристиками м'яса яловичини до та після термічного оброблення. Було встановлено, що ніжність м'яса знаходиться в позитивному зв'язку з величиною рН, вмістом вологи в м'ясі, що піддавалося термічному обробленню, вмістом лабільного колагену. Встановлено, що негативний зв'язок існує поміж ніжністю і кількістю соку, що видаляється під час термічного оброблення, втратами маси за дії теплоти, а також напругою зрізу,

зусиллям на розкусування й кількістю жувальних рухів. Смак м'яса знаходиться в негативній кореляції із вмістом колагену.

Харчова цінність сполучної тканини тісно пов'язана з її хімічним складом, під час цього особливе значення має достатньо висока масова частка білків. Зважаючи на малу здатність травних ферментів до розчеплення колагену цінність м'яса, що містить значну кількість сполучної тканини, низька. Останнє лежить в основі визначення сортності м'яса. У вищих сортах м'яса вміст сполучної тканини мінімальний.

М'ясо ший, тазостегнової та лопаткової частини містить значну кількість колагену з міцною структурою (2,4...3,3%) [14], крім того, міцність тканини цих частин підвищується за рахунок більш високого вмісту еластину. Ці частини туші піддають варенню та тушкуванню, оскільки для здійснення традиційного процесу жарення вологи, що залишається в м'ясі цих частин після термічного оброблення, недостатньо для проведення гідролізу колагену в тій кількості, за якої настає кулінарна готовність м'яса з ВВСТ.

Значною мірою на якість готових м'ясних виробів впливає нагрів до певної температури всередині виробів, яка забезпечить денатурацію білкових речовин та певний бактерицидний ефект. Для м'яса з ВВСТ ця температура становить 358 К [14], тільки вирізку можливо прогрівати до більш низьких температур через її особливо ніжну структуру і низьку обсемененість мікрофлорою.

Проведеними дослідженнями [27] зміни органолептичних властивостей, хімічного складу та біологічної цінності натурального м'яса яловичини (вирізка та товстий край) встановлено, що в процесі жарення м'яса структурно-механічні властивості змінюються під впливом двох взаємно протилежних чинників. Розварюваність колагену сприяє ослабленню міцності сполучнотканинних утворень і розм'якшенню м'яса (зменшення опору розрізування уздовж м'язових волокон), а ущільнення м'язових волокон у результаті видалення вологи білками, що денатуруються, навпаки, збільшує жорсткість м'яса (опір розрізування упоперек волокон). Для досліджуваних напівфабрикатів опір розрізування упоперек волокон м'яса складає для лангету  $28,7 \cdot 10^4$  Па і антрекота –  $31,9 \cdot 10^4$  Па. Ступінь переходу

колагену в глютин для лангету і антрекота дорівнювала 21,7 і 21,4%. Крім того, автори відзначили той факт, що після закінчення термічного оброблення м'яса температура в центрі порційних шматків м'яса підіймалася за рахунок акумульованої теплоти ще на 2...3 К. Встановлено також, що для жарення порційних напівфабрикатів рекомендується температура поверхні нагріву 433 К.

Жарені м'ясні порційні натуральні вироби з яловичини (лангет, біфштекс, ростбіф), виготовляються з найбільш ніжних та м'яких частин туші (вирізка, спинна та поперекова частини), що складає у ВРХ близько 14% маси туші [28], тоді як нижчі сорти м'яса з ВВСТ (тазостегова та лопаткова частини) для цього не придатні і використовуються для приготування дрібношматкових напівфабрикатів.

Одним із шляхів [29, 30] збільшення обсягів м'яса яловичини з ВВСТ, яке може використовуватись для виробництва жарених натуральних порційних виробів, є їх попереднє оброблення, а саме: механічне відбивання, розпушування, маринування, оброблення ферментними препаратами. Однак попереднє оброблення значно впливає на якість готового продукту, оскільки це призводить до порушення структури клітин, що в свою чергу призводить до втрат вологи й, як наслідок, зниження харчової цінності готових продуктів.

В роботі [31] провели дослідження впливу термічної і ферментативної обробок на ніжність м'яса. У даній статті розглянуті проблеми жорсткості м'яса і фактори, що визначають даний показник. Був проведений порівняльний аналіз зразків, термічно оброблених і оброблених перед приготуванням розчином протеолітичного ферменту – трипсіну. Встановлено позитивний вплив ферментативного оброблення м'ясної сировини перед приготуванням. Зразки, оброблені ферментом, виявилися м'якше контрольних зразків на 20%. Було підтверджено, що не завжди термічне оброблення позитивно впливає на ніжність м'яса.

Природною ферментацією м'яса вважають його дозрівання [32]. Дозрівання буває вологе і сухе. Суха витримка дозволяє досягти високих органолептичних показників продукту і підсилити його природний смак. М'ясо для стейків проходить сухе дозрівання в спеціальних холодильних камерах з певним мікрокліматом,

температурою повітря 275 К і відносною вологістю до 65%. Добре налагоджена система вентиляції створює необхідну циркуляцію повітря. В процесі дозрівання зайва волога випаровується з відрубів, волокна пом'якшуються і починається ферментація, яка надає кінцевому продукту насичений смак і аромат. Тривалість процесу може займати від 15 до 38 діб. За цей час відруб втрачає до 40% своєї ваги, тому для сухої витримки беруть тільки кращі відруби.

Волога витримка з'явилася набагато пізніше, ніж суха. Вона передбачає вакуумування відрубів і подальше їх зберігання в холодильних камерах за температури 274...276 К. М'ясо для стейків, витримане вологим способом більш соковите, ніжне і має м'яку структуру. Процес вологого дозрівання триває 3...10 діб, під час яких регулярно заміряються всі його фізичні характеристики. Найчастіше волога витримка застосовується для безкісткових відрубів.

Одним із методів поліпшення ферментації є оброблення молочною кислотою. Молочну кислоту застосовують у виробництві м'яса і м'ясопродуктів завдяки високим дифузійним властивостям, антимікробну дію, здатності пластифікувати білки, прискорювати дозрівання м'яса, регулювати рН і смак. Оброблення м'яса і м'ясних продуктів водними розчинами молочної кислоти, забезпечує утримання рН на рівні 4,0...5,4, сприяє утворенню на поверхні, просоченої кислотою «захисного шару» 5...20 мм, що перешкоджає розвитку гнильних мікробів.

### **1.3 Аналіз теплової обробки харчових продуктів у вакуумних термопакетах**

Технологія *Sous Vide* (/ су: 'ві: д /; з французької «у вакуумі») була вперше описана Бенджаміном Томпсоном (граф Румфорд) в 1799 році (хоча він використовував повітря в якості теплоносія). Вона була виявлена французькими та американськими інженерами в середині 1960-х років і розвинена в промисловий спосіб подовження терміну зберігання. Цей метод був прийнятий Жоржем Пралусом в 1974 році в ресторані *Troisgros* (П'єр і Мішель *Troisgros*) в Роані, в одному з кулінарних центрів Франції. Він виявив, що фуа-гра, приготування таким чином, зберігає первинний вигляд, не втрачає зайвий жир і має кращу консистенцію.

Наступним хто досліджував технологію Sous Vide був Бруно Гуссолт, він вивчав вплив температури на різні продукти харчування і став навчати кращих шеф-кухарів цьому методу. Як головний вчений Cuisine Solutions, компанії виробника кухонного обладнання з Олександрії, штат Вірджинія Гуссолт розробив параметри часу приготування і температури для різних продуктів [33].

Sous Vide є методом приготування їжі в запечатаному герметичному пластиковому мішку на водяній бані. Спосіб відрізняється від традиційного значно більшою тривалістю теплового оброблення – до 3 діб, а в деяких випадках – з точним регулюванням температури, іноді до 0,1 градуса, значно нижчої, ніж та, що зазвичай використовується для приготування їжі, як правило, – від 328 К до 333 К для м'яса і вище для овочів. Мета процесу полягає в тому, щоби продукт оброблявся рівномірно, зберігаючи соковитість [34].

Для Sous Vide необхідні два типи обладнання – нагрівачі з регуляторами температури: так званий термостат Sous Vide і вакуумні пакувальники. Регуляція температури дуже важлива в зазначеній технології. Коливання температури в один-два градуси можуть дуже сильно позначитися на структурі і смаку їжі. Обов'язковим умовам для цієї технології є герметична поліетиленова упаковка. Тому за допомогою Sous Vide частіше готують продукти, які легко піддаються пакуванню, – м'ясо, рибу, птицю, овочі або фрукти, а також соуси і підливи.

До позитивних сторін технології Sous Vide можна віднести [35]:

1. Під час запікання або смаження поверхня м'яса піддається впливу температур, які значно вище температури готовності. Технологія Sous Vide дозволяє готувати їжу за значно нижчих температур (до 373 К).

2. Страви після оброблення є більш соковитими, позаяк температура термічного оброблення є значно нижчою, ніж під час основних способів приготування, таке оброблення залишає клітинні мембрани в цілісності.

3. Вакуумна упаковка дозволяє зберегти в середині продукту всі його запахи і смаки.

4. Коректний підбір температури і часу приготування робить продукти більш м'якими. У твердих шматках м'яса, які смажать або відварюють, м'язовий колаген перетворюється в желатин.

5. Приготовлені цим способом овочі зберігають хрустку і свіжу текстуру, що важко досягти під час традиційного оброблення.

До негативних сторін технології *Sous Vide* можна віднести:

1. Універсальність *Sous Vide* теж відносна: технологія ефективна тільки під час роботи з продуктами, які легко пакуються в вакуумні пакети. За технологією *Sous Vide* неможливо приготувати борошняні вироби і напівфабрикати із посіченого м'яса.

2. Якщо їжа піддається тепловому обробленню більше чотирьох годин за температури водного середовища нижче, ніж 325 К, то в ній цілком можливе розмноження бактерій, що провокують ботулізм. Щоб уникнути інфекції, необхідно вибирати більш високі температури для тих продуктів, що готуються довше чотирьох годин.

Ботулізм (з лат. *botulus* — ковбаса) — це гостре токсико-інфекційне захворювання, яке зумовлює токсин *Clostridium botulinum*. Хвороба характеризується міоплегією та офтальмоплегією, парезом кишечника, розладами вегетативної інервації, за тяжкого перебігу — бульбарним синдромом і гострою дихальною недостатністю [36].

Захворювання зазвичай розвивається, коли людина вживає їжу, що накопичила токсин внаслідок забруднення її та розмноження вегетативних форм збудника, тобто якщо в харчовому продукті виникли анаеробні умови. Таким чином реалізується харчовий шлях зараження. Найчастіше *Clostridium botulinum* виявляють у в'яленій або слабо просоленій рибі, ковбасі, шинці, м'ясних, рибних, овочевих, грибних консервах.

Бактерії мають 2 форми:

1) спорову – коли зародок стійкий до механічного впливу і навіть високих температур;

2) вегетативну – безпосередньо сам грибок, який виробляє отруту. Він гине вже після 900...1200 с термічного оброблення за температури 353 К або на п'ятій хвилині кип'ятіння [37].

#### **1.4 Висновки за першим розділом**

1. На даний час в Україні спостерігається зменшення поголів'я ВРХ і свиней. Використання м'яса з ВВСТ є альтернативою для заміни високосортного м'яса, придатного для виготовлення натуральних порційних виробів.

2. Використання м'яса з ВВСТ для виготовлення натуральних порційних виробів зумовлює розробку нових процесів термічного оброблення.

3. Існуючі процеси термічного оброблення м'яса з ВВСТ, серед яких є технологія *Sous Vide*, є довготривалими, витратними за часом та ресурсами і не завжди приводять до очікуваного результату.

4. Використання вакуумного пакування м'яса з ВВСТ у термопакети, як елемент технології *Sous Vide*, дозволяє створювати герметично замкнений об'єм, в якому напівфабрикат може не тільки зберігатися в практично стерильних умовах, але термічно оброблюватися як у водяних банях, так і в інших апаратах

5. Внаслідок вакуумування видаляється повітря і газу не тільки із термопакету, але і самого напівфабрикату, що позитивно впливає на його теплофізичні властивості. Єдиною перешкодою в процесі передачі теплоти є сама термоплівка, яка має низький коефіцієнт теплопровідності і зумовлює велику тривалість процесу термічного оброблення.

6. Наявність великого термічного опору теплопередачі у вигляді термоплівки зумовлює різке падіння температури поверхні напівфабрикату відносно середовища або поверхні нагрівання. Розробка нових процесів термічного оброблення напівфабрикатів в вакуумних термопакетах повинна враховувати наявність такого опору.

7. Підвищення температури середовища або поверхні нагрівання в процесі термічного оброблення буде позитивно впливати на тривалість процесу термічного оброблення, а підвищення кінцевої температури в центрі напівфабрикату до 343 К

дозволить ліквідувати умови для розвитку життєдіяльності бактерій ботулізму, що притаманно технології Sous Vide.

8. Позитивною стороною вакуумних термопакетів є повне збереження вологи, бо під час традиційних видів термічного оброблення відбуваються значні її втрати, кількість якої недостатня для проведення гідролізу колагену в тому ступені, за якого настає кулінарна готовність м'яса з ВВСТ.

9. Імпульсне стиснення під час нагрівання поміж двома пластинами буде приводити в рух вологу в середині м'яса що призведе до більш кращого обтікання колагену і подальшого його перетворення в глютин.

10. Тиск призведе до закипання води, а різке скидання тиску до її різкого випарування і подальшої конденсації на поверхнях м'язових волокон, в т.ч. і колагенових, що приведе до інтенсифікації термічного оброблення м'яса з ВВСТ.

## 2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Аналіз і обґрунтування факторів інтенсифікації термічної обробки виробів з м'ясної сировини

Теоретичне обґрунтування можливості проведення процесу жарення м'яса з ВВСТ без присутності зовнішньої вологи запропоновано в роботах [38-40], де авторами зроблено висновок щодо достатності кількості вологи, що міститься в м'ясі ВВСТ, для проведення гідролізу колагену в необхідній мірі. Крім того, розглянуто масообмінні процеси, які виникають в м'ясі у функціонально замкненому об'ємі за двостороннього підведення теплоти в процесі жарення, запропоновано поділ процесу за часом на 3 основні стадії, з яких основною за енергетичними витратами є друга. Механізм теплопередачі в поверхневих шарах виробів із м'яса з ВВСТ у функціонально замкненому об'ємі під час другої стадії двостороннього жарення за умови нежорсткої фіксації поверхонь нагрівання розглянуто в роботах [41, 42]. Згідно з цими даними коефіцієнт теплопередачі від поверхні жарення до рідини поверхні меніска капілярів м'яса з ВВСТ за один термодинамічний процес випарування і конденсації пари складає:

$$k = \frac{0,11553 \cdot r \cdot d_{\kappa}}{\Delta \bar{T}^c \cdot \Delta v \cdot \tau_{\psi}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (2.1)$$

де  $r$  – повна теплота конденсації пари за атмосферного тиску, Дж/кг;

$d_{\kappa}$  – діаметр капіляра, м;

$\Delta \bar{T}^c$  – середньоінтегральна різниця температур (середньоінтегральний температурний напір) між поверхнею нагрівання і поверхнею виробу, К;

$\Delta v$  – зміна (зменшення) питомого об'єму пари під час повної конденсації за атмосферного тиску, м<sup>3</sup>/кг;

$\tau_{\psi}$  – тривалість термодинамічного процесу випарування води і конденсації пари, с.

Теплообмін в процесі двостороннього підведення теплоти до м'яса з ВВСТ у вакуумних термопакетах, хоча і відбувається за схожих умов, але буде мати певні відмінності.

По-перше, на відміну від процесу двостороннього жарення у функціонально замкнених ємностях, процес термічного оброблення м'яса з ВВСТ під імпульсним стисненням здійснюється у вакуумних термопакетах, які можна розглядати як герметично замкнені ємності. За таких умов сталості тиску водяної пари в термопакеті не буде. Початковий тиск у вакуумному термопакеті складає, за паспортними характеристиками вакууматора, 10 кПа. Фазові перетворення рідини будуть викликати збільшення тиску водяної пари в термопакеті з подальшим його зменшенням до 10 кПа під час її конденсації.

По-друге, під час вакуумування відбувається видалення повітря і газів не тільки з об'єму термопакету, але і із самого м'яса, що призводить до збільшення коефіцієнту теплопровідності м'яса без його зсідання або ущільнення. Тобто впливати фізичними методами під час термічного оброблення на м'ясо для збільшення його коефіцієнту теплопровідності недоцільно.

По-третє, поверхня вакуумного напівфабрикату з м'яса з ВВСТ деформована внаслідок самого вакуумування. Тобто стиснення потрібне для зменшення термічного опору теплопередачі між поверхнею нагрівання і поверхнею термопакету.

По-четверте, матеріал термопакету має низький коефіцієнт теплопровідності і вже сам по собі є достатньо великим опором теплопередачі. Фактично, він є теплоізоляційним елементом на шляху теплопередачі від поверхонь нагрівання до поверхні напівфабрикату. Подолати цей опір можливо або шляхом збільшення температури поверхонь нагрівання, або збільшенням тривалості процесу термічного оброблення відповідно формули теплопровідності

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (T_{\text{пов}} - T_{\text{під.пов}}) \cdot \tau, \text{ Дж}; \quad (2.2)$$

де  $\lambda$  – теплопровідність матеріалу термопакету, Вт/(м·К);

$\delta$  – товщина матеріалу термопакету, м;

$T_{\text{пов.}}, T_{\text{під.пов.}}$  – відповідно, температури на поверхні і під поверхнею термопакету, К;

$\tau$  – тривалість процесу передачі теплоти, с.

Із рівняння (2.2) падіння температури в шарі термопакету за умови щільного контакту з поверхнею нагрівання

$$T_{\text{пов.}} - T_{\text{під.пов.}} = \frac{Q}{F \cdot \tau} \cdot \frac{\delta}{\lambda} = \frac{P}{F} \cdot R = W \cdot R, \quad (2.3)$$

де  $W$  – питома поверхнева потужність поверхні нагрівання, Вт/м<sup>2</sup>;

$R$  – термічний опір шару термопакету, м<sup>2</sup>·К/Вт.

За питомої поверхневої потужності поверхонь нагрівання 47500 Вт/м<sup>2</sup>, товщині  $100 \cdot 10^{-6}$  м і коефіцієнті теплопровідності для поліетилену 0,4 Вт/(м·К) падіння температури в шарі термопакету складе 11,8 К (12 К). Наведене падіння температури необхідно враховувати під час апаратурного оснащення процесу термічного оброблення.

По-п'яте, використання стиснення дозволяє додатково ущільнити напівфабрикат, внаслідок чого його пори і капіляри максимально заповнюються рідиною, яка в умовах різкого зняття стиснення і, відповідно, різкого зменшення тиску водяної пари в поверхневому шарі напівфабрикату закипає, перетворюється на пару і конденсується.

Таки чином, факторами інтенсифікації процесу двостороннього термічного оброблення м'яса у вакуумних термопакетах є:

– зміна теплофізичних властивостей сировини, а саме збільшення коефіцієнту теплопровідності м'яса, що досягається процесом вакуумування;

– збільшення поверхні контакту між поверхнями нагрівання і поверхнею термопакету з напівфабрикатом;

– збільшення загального коефіцієнту теплопередачі від поверхонь нагрівання до поверхні напівфабрикату у вакуумному термопакеті за рахунок зменшення термічного опору теплопередачі між поверхнею нагрівання і поверхнею термопакету внаслідок стиснення;

– підвищення температурного рівня процесу термічного оброблення до 353...373 К.

## **2.2 Аналітична модель обжарювання виробів з м'ясної сировини у вакуумних термопакетах**

Під час двостороннього термічного оброблення м'яса з ВВСТ у вакуумних термопакетах відбувається підведення теплоти лише до тієї поверхні продукту, яка безпосередньо контактує з поверхнями нагріву через плівку. До бокової поверхні продукту підведення теплоти в даному випадку не забезпечується та її нагрів здійснюється лише за рахунок розповсюдження теплоти всередині продукту. Крім того, через неї продукт втрачає теплоту.

Вирішити питання більш повного використання підведеної поверхнями нагріву теплової енергії та забезпечення підведення теплоти до поверхонь нагріву можливе за умов організації процесу термічного оброблення, за якого пара, яка раніше втрачалася разом із теплотою пароутворення в навколишнє середовище, в максимальній кількості залишалася б у зоні контакту з боковими поверхнями продукту. В цьому випадку у разі контакту пари з боковою поверхнею продукту, яка має протягом усього процесу нагрівання меншу температуру, ніж температура пари, буде відбуватися її конденсація. Це можливо, якщо створити герметичний вакуумований об'єм і процес термічного оброблення здійснювати за умови розміщення в ньому м'ясних виробів.

Під час двостороннього нагрівання за надлишкового тиску пари на рівні граничного в м'ясі з ВВСТ фактично відсутнє утворення потоку речовини, що призведе до збереження нативної вологи і, як наслідок, створить умови для достатнього гідролізу колагену.

У разі нежорсткої фіксації поверхонь нагріву видалення вологи з продукту буде компенсуватися стисненням м'яса за висотою (товщиною). Тому можна стверджувати, що тиск пари в контактній зоні підтримується постійним, і тому температура буде дорівнювати температурі насиченої пари за створеного тиску.

Здійснення процесу жарення необхідно проводити шляхом розміщення м'ясних напівфабрикатів, виготовлених із м'яса з ВВСТ, у вакуумованих термопакетах (ВТ) та стисненням із певним зусиллям  $P$  через певний інтервал часу поміж двома поверхнями нагріву за схемою, наведеною на рис. 2.1. Нагрів верхньої та нижньої поверхонь продукту, що контактують із поверхнями нагріву через плівку ВТ, забезпечується тепловими потоками  $q_1$  та  $q_2$ . Крім того, до бокової поверхні також буде забезпечуватися підведення теплоти за рахунок конденсації на ній вологої пари. Таким чином підведення теплоти за запропонованим способом буде здійснюватися до всієї поверхні продукту.

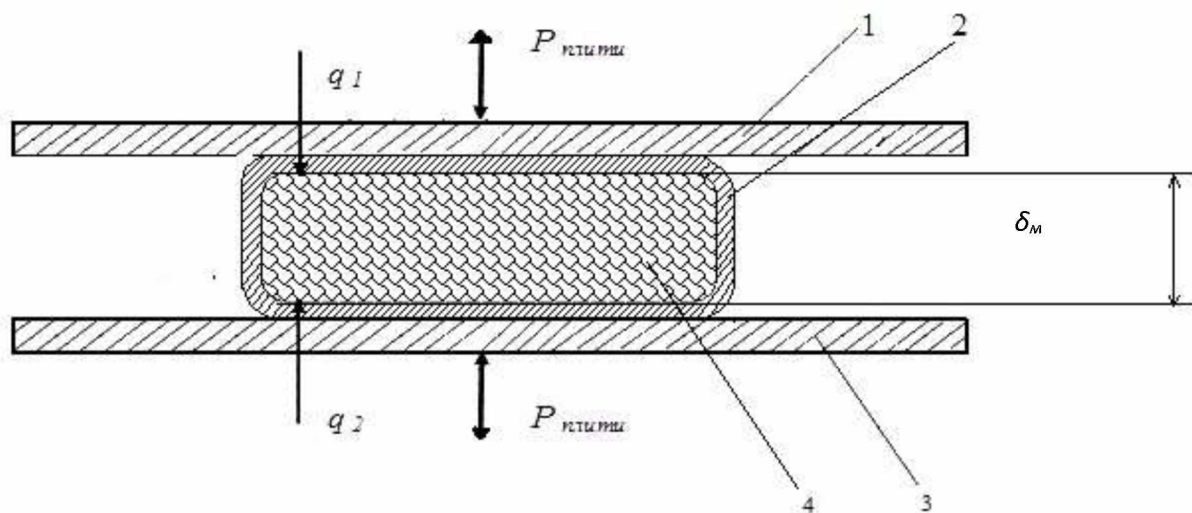


Рисунок 2.1 – Схема проведення процесу двостороннього жарення під стисненням, в т.ч. імпульсним, у ВТ м'яса:

1, 3 – верхня та нижня поверхня нагріву апарата; 2 – ВТ; 4 – продукт

Оскільки в зоні контакту поверхні продукту з поверхнею нагріву, яка має температуру 353...373 К, будуть відбуватися фазові перетворення «рідина–пара», це забезпечить інтенсивне підведення теплоти до поверхні продукту. З огляду на те, що продукт буде періодично стиснений поміж двома поверхнями нагріву, в зоні

контакту фазові перетворення будуть відбуватися за тиску, вищого за тиск вакуумування, і тому за температури, вищої за температуру кипіння за 10 кПа. Причому на боковій поверхні продукту конденсація пари буде здійснюватися за тиску 10 кПа, а випарування рідини на поверхні продукту, що контактує з поверхнею нагріву, буде опором фільтраційному перенесенню маси. Пара під час нагріву не буде втрачатися через герметичність ВТ у навколишнє середовище.

Передача теплоти від поверхонь нагріву до продукту через плівку ВТ відбувається за рахунок безперервного випаровування і конденсації вологи на поверхнях, що контактують із ВТ, та її конденсації на його бічній поверхні.

Увесь процес двостороннього термічного оброблення під імпульсним стисненням за наведених умов можна поділити на дві стадії (рис. 2.2):

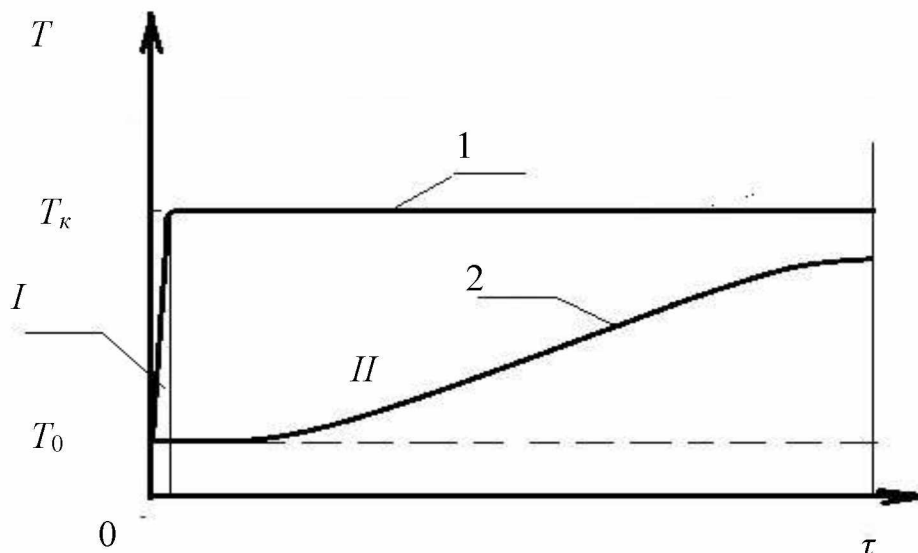


Рисунок 2.2 – Теоретична кінетика температури поверхневих 1 і центральних шарів 2 продукту в процесі двостороннього термічного оброблення під імпульсним стисненням

– перша (*I*) стадія – стадія прогрівання незначної частини поверхневих шарів напівфабрикату до температури випарування води – є нетривалою в часі, який буде залежати від теплопровідності плівки ВТ;

– друга (*II*) стадія є основною в процесі нагрівання з точки зору необхідних енергетичних витрат, під час якої передача теплоти в поверхневих шарах виробу здійснюється через парові прошарки, і закінчується за температури у центрі

напівфабрикату близько 353...355 К, коли м'ясо з в'язкопластичних набуває властивостей, притаманних твердому тілу, через закінчення теплових перетворень білків, що входять у склад м'яса.

М'ясо з ВВСТ за своєю будовою є надзвичайно складною структурою, яка складається з м'язових волокон, об'єднаних у первинні пучки, первинні об'єднані в більші пучки тощо, причому проміжки поміж ними мають у своєму складі істотні прошарки сполучної тканини та заповнені рідиною. Діаметри різних капілярів тому повинні коливатися в широких межах. Так діаметр м'язового волокна може складати  $45...60 \cdot 10^{-6}$  м [43], що в свою чергу залежить від виду м'язу, віку, статі худоби, умов її харчування і напування, умов зберігання тощо.

Крім того, існують капіляри поміж волокнами, первинними пучками тощо, діаметр яких у свою чергу також залежать від способу укладання капілярів та вищезазначених факторів. У капілярів і пор м'яса, в т. ч. із ВВСТ, є порожнини, заповнені газами (водяною парою, повітрям тощо), які видаляються під час вакуумування у ВТ.

Описання процесів термічного оброблення зводяться до загального вигляду [44, 45]:

$$\Theta = f(\xi; Bi; Fo), \quad (2.4)$$

де  $\Theta$  – безрозмірна температура продукту,  $\Theta = \frac{T - T_0}{T_{cp} - T}$ ; (2.4.1)

$\xi$  – безрозмірна координата,  $\xi = \frac{x}{\delta_m}$ ; (2.4.2)

$Bi$  – критерій Біо,  $Bi = \alpha \cdot \delta_m / \lambda$ ; (2.4.3)

$Fo$  – критерій Фур'є,  $Fo = a \cdot \tau / \delta_m^2$ . (2.4.4)

Кількість теплоти  $Q_1$ , що підводиться до поверхні продукту, та кількість теплоти  $Q_2$ , що відводиться від поверхні продукту до центру, визначається за формулами [6]:

$$Q_1 = \alpha [T_1(Fo) - T_n], \quad (2.5)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda}{\delta_m} [T_n - T_y(Fo)], \quad (2.6)$$

де  $T_1$  – температура поверхні нагріву (середовища), К;

$T_n$  – температура поверхні продукту, К;

$T_y$  – температура в центрі продукту, К.

Для підтримання температури поверхні за заданого рівня повинні забезпечуватись умови  $Q_1 = Q_2$ , тоді

$$T_1(Fo) = T_n + \frac{1}{Bi} [T_n - T_y(Fo)]. \quad (2.7)$$

Тривалість 1-ї стадії  $Fo^I$  визначається часом, за якого температура поверхні продукту досягає допустимого значення  $T^*$  на поверхні продукту, визначається за формулою:

$$Fo^I = \frac{Bi + 3}{3Bi} \ln \left( \frac{2 \cdot (T_n - T_0)}{(Bi + 2) \cdot (T_n - T^*)} \right) + Fo^v. \quad (2.8)$$

Під час 2-ї стадії температура поверхні продукту залишається на тому ж рівні  $T^*$ , а тривалість визначається часом досягнення температури в центрі виробу заданого значення  $T_y$

$$Fo^{\text{II}} = \frac{1}{b} \ln \left( \frac{Bi \cdot (T_n - T^*)}{2 \cdot (T^* - T_y)} \right) + Fo^{\text{v}}, \quad (2.9)$$

де  $b$  – коефіцієнт, для пластини  $b=3$  [43].

Аналітичною моделлю процесу двостороннього підведення теплоти в процесі термічного оброблення м'яса з ВВСТ у вакуумних термопакетах є відоме рівняння [6]

$$\tau_0 = \frac{Fo \cdot \delta_m^2}{a}, \text{ с}; \quad (2.10)$$

де  $a$  – температуропровідність продукту,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\delta_m$  – товщина м'яса в термопакеті,  $\text{м}$ ;

$Fo$  – критерій Фур'є.

На поверхні напівфабрикату в кожному меніску капілярів та пор під час другої стадії відбувається передача теплоти через парові прошарки за термодинамічним процесом 1-2-3, наведеним на рис. 2.3.

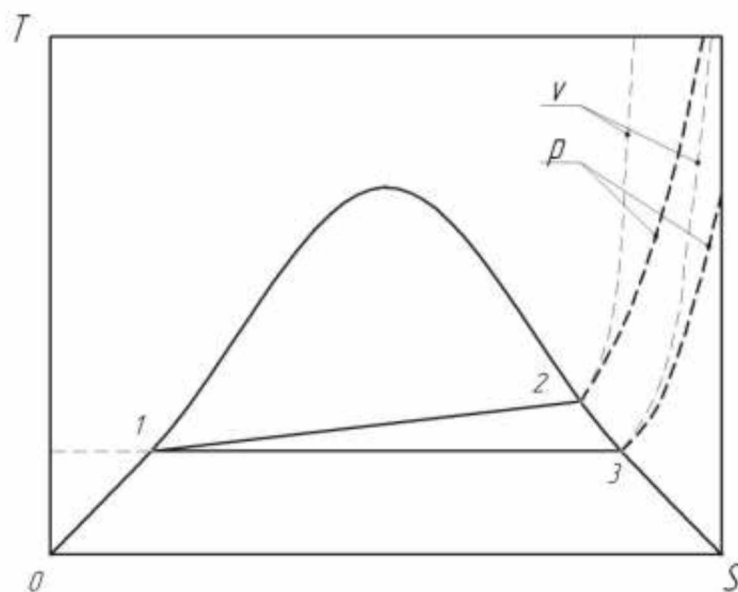


Рисунок 2.3 – Схема термодинамічного процесу водяної пари в меніску капіляра в поверхневому шарі виробу під час термічного оброблення м'яса

Під час зняття навантаження, що викликає стиснення м'яса, в процесі двостороннього термічного оброблення відбувається різке розширення рідини в капілярах і порах, що і викликає термодинамічний процес 1-2-1. Конденсація пари (на рис. 2.4 – процес 2-1) відбувається на бічних поверхнях м'ясних і колагенових волокон, що призводить до інтенсифікації нагріву і пришвидшенню гідролізу колагену.

В центральних шарах м'яса під дією потоків теплоти  $q_1$  і  $q_2$  та імпульсного стиснення відбуватиметься термодинамічний процес 1-2-1 (рис. 2.4).

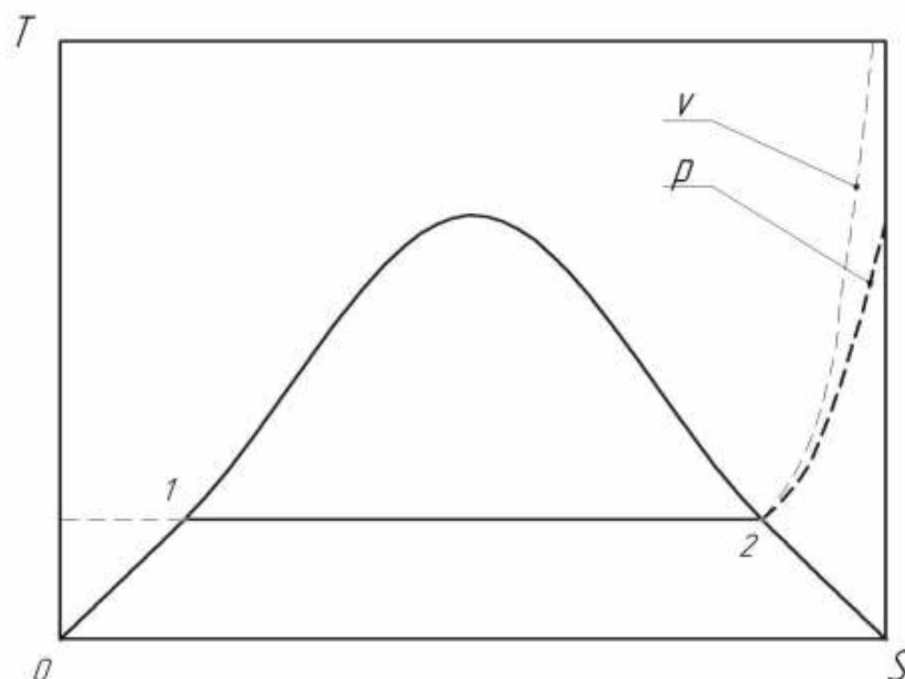


Рисунок 2.4 – Схема термодинамічного процесу водяної пари всередині виробу під час термічного оброблення м'яса

### 2.3 Матеріали досліджень

Об'єктом дослідження є процес термічної обробки м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide. Предметом дослідження є напівфабрикати з м'яса яловичини з ВВСТ, готові вироби після термічної обробки.

Матеріалами дослідження є м'ясні порційні натуральні вироби, виготовлені за нормативною документацією [46]: антрекот із м'яса яловичини з ВВСТ та їх напівфабрикати.

Для приготування напівфабрикатів використовували сировину, що відповідає вимогам нормативної документації: м'ясо яловичини (лопаткова частина).

М'ясна сировина біла закуплена в мережі магазинів «Свіжина» (м. Полтава), в яку вона поступає від одного сільськогосподарського підприємства. Сировину піддавали попередній обробці за традиційною технологією [47].

Підготовку та дослідження зразків проводили в галузевій науково-дослідній лабораторії харчових виробництв Вищого навчального закладу Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі».

#### **2.4 Методика досліджень процесу обсмажування виробів з м'яса у вакуумних термопакетах**

Для досліджень використовувалася лопаткова частина яловичини, придбана в мережі магазинів «Свіжина» (м. Полтава). М'ясо нарізали на однакові шматки площею 0,003 м<sup>2</sup> і масою 0,05 кг. Маса напівфабрикатів і виробів після термічного оброблення визначалася за допомогою аналітичних ваг AXIS AD600.

Використовувалися термопакети фірми «Profi cook». Збоку кожного пакету за допомогою шила пророблювався отвір, через який в середину пакета вводилася термопара ХК-0,5. Отвір з термопарою герметизувався за допомогою епоксидного клею фірми «Фіксатор».

Підготовлені напівфабрикати розміщувалися в термопакетах. В центр напівфабрикату вводилася термопара, після чого термопакет піддавався вакуумуванню в апараті HENKELMAN Mini Jumbo [48].

Для дослідження був використаний експериментальний стенд [13], в склад якого входив експериментальний зразок апарата для термічного оброблення в умовах імпульсного стиснення (рис. 2.5). Температура кожної поверхні нагріву підтримується на заданому рівні за допомогою двоканального пристрою для вимірювання і регулювання температури ТРЦ 02 «Універсал плюс» із імпульсною подачею напруги на електронагрівачі в районі температури регулювання й двох термопар ХК-0,5, закарбованих у поверхні жарення на відстані 0,0005 м від поверхні. Температуру в центрі напівфабрикату визначали за допомогою термопари

ХК-0,5, сигнал від якої фіксувався мультиметром MASTECH M890G. Витрату електроенергії визначали за допомогою лічильником електроенергії «Енергія - 9» шляхом визначення різниці показників.

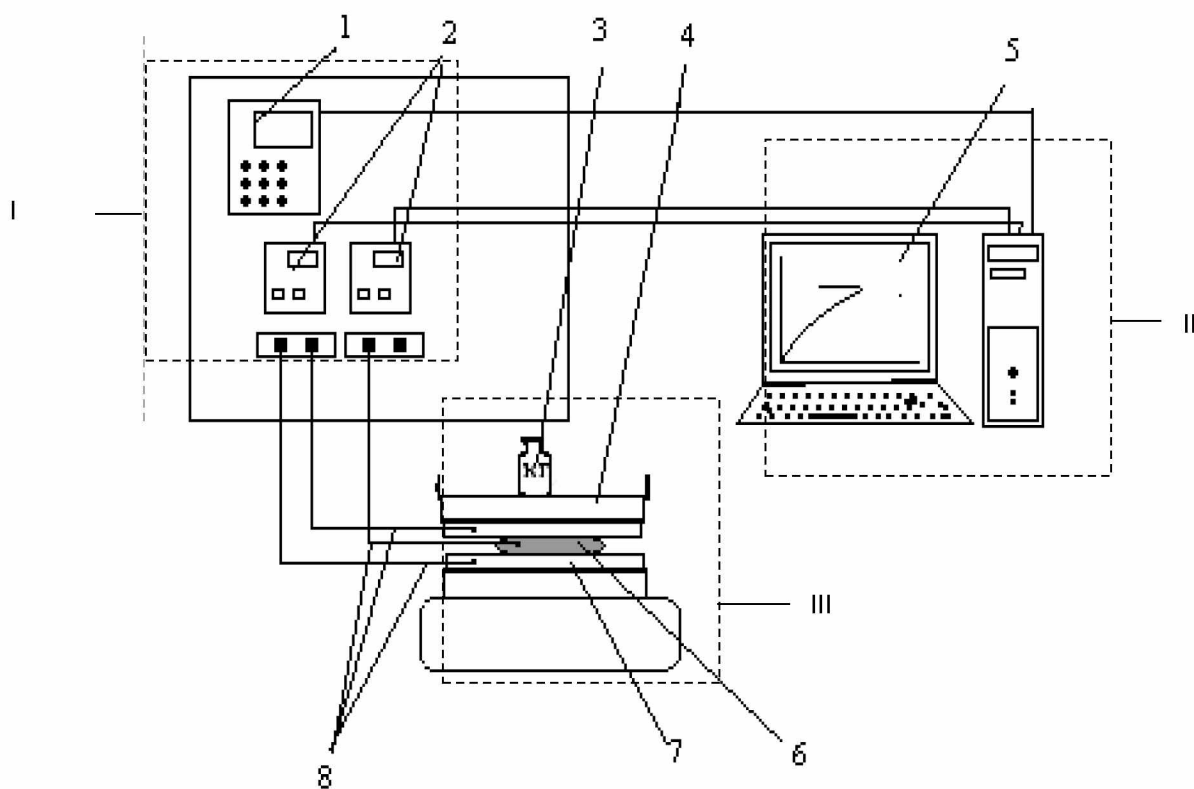


Рисунок 2.5 – Схема експериментального стенда для проведення досліджень процесу термічного оброблення м'яса у вакуумних термопакетах:

1 – електронний лічильник електроенергії; 2 – терморегулятори ТРЦ 0,2 «Універсал плюс»; 3 – гиря; 4, 7 – верхня та нижня поверхні нагріву; 5 – ПЕОМ; 6 – досліджуваний зразок м'яса з ВВСТ у вакуумованому термопакеті; 8 – термопари ХК-0,5

Тривалість процесу жарення визначалася від температури в центрі дослідних зразків 288 К до температури 343 К за допомогою секундоміра «Електроника ИТ-01».

Експеримент проводився за температури поверхонь апарата 373 К. Імпульсне стиснення з частотою 1с/1с створювалося вручну за допомогою гирі масою 4 кг, що дозволяло отримувати граничний тиск в напівфабрикаті граничного ( $11,5 \cdot 10^3$  Па).

За досягнення температури в центрі напівфабрикату 343 К термопакет виймався з апарата і розрізався.

Вихід готового продукту визначався як відношення маси виробу після термічного оброблення до маси напівфабрикату, %.

## **2.5 Методика досліджень якості готових виробів з м'яса**

Якість готових виробів після термічного оброблення досліджувалася за фізико-хімічними, мікробіологічними та органолептичними показниками.

### **2.5.1 Методика досліджень якості виробів з м'яса за фізико-хімічними показниками**

Одними з найважливіших фізико-хімічних показників готових виробів є активна кислотність (рН) та ніжність.

Активна кислотність готових виробів характеризує вміст кислот та пов'язану з цим діяльність ферментів й бактерій та впливає на термін реалізації.

Дослідження проводилися зі зразками, виготовленими з м'яса лопаткової частини яловичини, довжиною 0,08 м, шириною 0,05 м і товщиною 0,015 м. Кислотність визначалася для сирого м'яса та готових виробів після термічного оброблення у вакуумованому термопакеті між двома поверхнями нагрівання під імпульсним надлишковим граничним тиском з частотою 1с/1с до температури в центрі виробу 343 К та за температури поверхні 373 К

Активна кислотність зразків визначалася за допомогою рН-метра «рН-150» згідно з [49].

Ніжність м'яса визначалася вдосконаленим приладом для визначення міцності печива [50]. Пристрій відрізнявся тим, що замість грибоподібної насадки, яка знаходилася на нижньому кінці штока, було встановлене лезо рис. 2.6.

Пристрій для визначення ніжності складається з основи (1), стійки (2), вертикально закріпленої на основі; рухомого кронштейну (3). У кронштейні вертикально переміщується шток (5), на нижньому кінці якого знаходиться лезо (4), а на верхньому – ємність для металевих шариків (6), столик для дослідного зразка (7). За схемою (рис 2.6) був зроблений пристрій для визначення ніжності (рис 2.7).

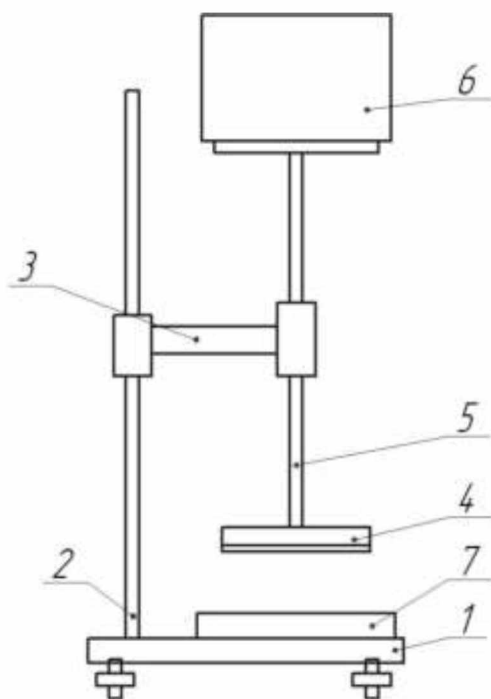


Рисунок 2.6 – Схема пристрою для визначення ніжності:

1 – основа; 2 – стійка; 3 – рухомий кронштейн; 4 – лезо; 5 – шток; 6 - ємність для металевих шариків; 7 - столик для дослідного зразка



Рисунок 2.7 – Пристрій для визначення ніжності

Сутність методу полягає в тому, що дослідний зразок кладуть на столик 7, на нього ставлять лезо 4 і в ємність 6 насипають металеві шарики до того часу поки лезо 4 не розріже дослідний зразок. Після того, як м'ясо буде розрізане, металеві шарики, які були в ємності зважуються і визначається опір розрізування, який буде визначати ніжність дослідного зразка. Опір розрізування визначається в Н/м за формулою:

$$R=P/l, P=m \cdot g \quad (2.11)$$

$R$  – опір розрізування в Н/м;

$P$  – вага металевих шариків в Н;

$l$  – довжина леза в м;

$m$  – маса металевих шариків в кг;

$g$  – прискорення вільного падіння (9,81 м/с<sup>2</sup>).

### **2.5.2. Методика досліджень якості виробів з м'яса за мікробіологічними показниками**

Мета досліджень полягає у визначенні рівня мікробіологічної безпечності готових виробів, після термічного оброблення у вакуумованому термопакеті між двома поверхнями нагрівання під імпульсним надлишковим граничним тиском з частотою 1с/1с до температури в центрі виробу 343 К та за температури поверхні 373 К

Мікробіологічні показники якості визначалися для м'яса сирого та готових виробів після термічного оброблення у вакуумованому термопакеті між двома поверхнями нагрівання під імпульсним надлишковим граничним тиском з частотою 1с/1с до температури в центрі виробу 343 К та за температури поверхні 373 К

Мікробіологічні показники якості сирого м'яса та готових виробів досліджувалися в галузевій науково-дослідній лабораторії харчових виробництв Вищого навчального закладу Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

Перелік показників, за якими визначалася мікробіологічна безпечність сирого м'яса, встановлювався згідно з ДСТУ 4426:2005 [51], готових виробів – згідно з ДСП 4.4.5.078-2001 [52].

Кількість МАФМ КУО визначали за ГОСТ 10444.15-94 [53].

Бактерії групи кишкової палички визначали згідно з ГОСТ 7702.2.2-93 [54].

Кількість дріжджів і цвільних грибів згідно з ГОСТ 10444.12-2013 [55].

### **2.5.3 Методика досліджень якості виробів з м'яса за органолептичними показниками**

Для визначення якості сировини, напівфабрикатів і готової кулінарної продукції використовують два методи: органолептичний і лабораторний. Лабораторний аналіз дає найточніші результати про якість продукту чи страви, а смакові та інші показники якості визначаються тільки за допомогою органів чуття людини, тобто органолептичним методом.. Дегустатор не повинен курити, вживати алкогольні напої. Під час дегустування спочатку пробують ті продукти, що мають ніжний смак і запах, а потім – більш гострі [56].

Оцінювання споживчих переваг харчових продуктів проводиться за допомогою органів чуття людини: смаку, нюху, зору, дотику та слуху.

Смак визначають за допомогою смакового апарату, який складається із смакових точок і розміщених навколо них нервових волокон. Смак відчувається тільки тоді, коли смакові речовини знаходяться у розчиненому стані (у воді, слині). Тому пробу особливо сухих і жирних продуктів на деякий час затримують у роті і розжовують до появи чітко вираженого смаку.

Розрізняють чотири основних види смаку: солодкий, солоний, кислий, гіркий, а всю різноманітність існуючих у природі смаків вважають відтінками цих смакових категорій.

Запах сприймається органом нюху. Розрізняють сім основних груп запахів: камфорний, мускусний, квітковий, м'ятний, ефірний, гострий, гнильний. Усі інші запахи вважають змішаними; вони складаються з основних запахів.

Для визначення запаху їжі роблять енергійний короткий і сильний вдих носом, дихання затримують на 2...3 с, а потім роблять видих. Орган нюху побудований так, що запахи людина відчуває також і під час ковтання їжі.

Найповніше та найяскравіше відчуття смаку і запаху дає перший ковток, перше куштування страви.

Колір продукту (продукції) залежить від його властивостей відбивати (повністю або частково) або пропускати промені світла різної довжини. За допомогою органів зору визначають не тільки колір, а й прозорість, блиск, зовнішній вигляд, форму, консистенцію, характер упакування тощо.

Консистенція — це сума властивостей (м'якість, зернистість, липкість, розрідженість та ін.) харчового продукту, які визначаються очима, шкірою рук, м'язами рота.

У міру приготування кожної партії страв, кулінарних виробів (перед видаванням їх для реалізації) проводиться бракераж — щоденний контроль якості готової продукції, який здійснює бракеражна комісія в присутності кухаря, що готував страву [57]. До складу бракеражної комісії входять: директор, інженер-технолог, завідуючий виробництвом, висококваліфікований кухар, який має право особистого бракеражу їжі, або кухар-бригадир, санітарний працівник.

Крім того перевіряють вихід продукції. Для цього зважують порції виробів, які беруть з роздавальної лінії для відпускання відвідувачам. Відхилення в масі не допускаються.

Перед проведенням бракеражу комісія з бракеражу має ознайомитися з меню і калькуляцією на вироби. Якщо порушенні технології приготування їжі або недоважуванні комісія має право зняти страви з реалізації і направити їх на доготування чи перероблення, а якщо потрібно — на обстеження у санітарно-бактеріологічну лабораторію.

Результати бракеражу записують у журнал бракеражу, де страву оцінюють за п'ятибальною шкалою. Сторінки журналу мають бути пронумеровані, прошнуровані та скріплені печаткою. Він зберігається у завідуючого виробництвом або у санітарного працівника.

Під час органолептичної оцінки страв [58] кожному з показників – зовнішній вигляд, смак, запах і консистенція – оцінюють за 5-бальною системою оцінки, наведеною в додатку Г, з урахуванням коефіцієнту вагомості кожного показника. Загальну оцінку страви виводять як середнє арифметичне до десятих дробів одиниці.

## **2.6 Висновки за другим розділом**

За результатами виконання розділу були визначенні об'єкт, предмет і методика дослідження. розроблений експериментальний стенд для досліджень процесу термічного оброблення м'яса з ВВСТ у вакуумованих термопакетах. Для визначення активної кислотності, мікробіологічної безпечності, органолептичних показників використовували стандартні методи. Для визначення ніжності була розроблена нова методика.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Результати досліджень впливу стиснення виробів з м'яса у вакуумних термопакетах під час обсмажування на техніко-економічні показники процесу

Дослідження проводилися у триразовій повторюваності. Результати експериментальних досліджень аналізувались статистично.

Результати експериментальних досліджень після статистичного оброблення наведені в таблиці 3.1 та на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних досліджень показників процесу термічного оброблення м'яса з ВВСТ у вакуумних термопакетах

№ з/п	Найменування показника	Значення показника за температури поверхонь нагрівання
		373 К
1	Маса напівфабрикату, кг	0,05
2	Тривалість процесу, $\tau$ , с, $\pm 0,05$	160
3	Маса виробу після термічного оброблення, кг, $\pm 0,05$	0,0445
4	Вихід готового продукту, $z$ , %	90,1
5	Витрата електроенергії на процес термічного оброблення, $10^{-3}$ кВт·год., $\pm 0,05$	6
6	Питома витрата електроенергії на процес термічного оброблення, кВт·год./кг, $\pm 0,05$	0,135

Спостерігається значне скорочення тривалості процесу термічного оброблення 160 с, низька питома витрата електроенергії – 0,135 кВт·год./кг та високий вихід готового продукту – 90,1 % в порівнянні з традиційною технологією Sous Vide.

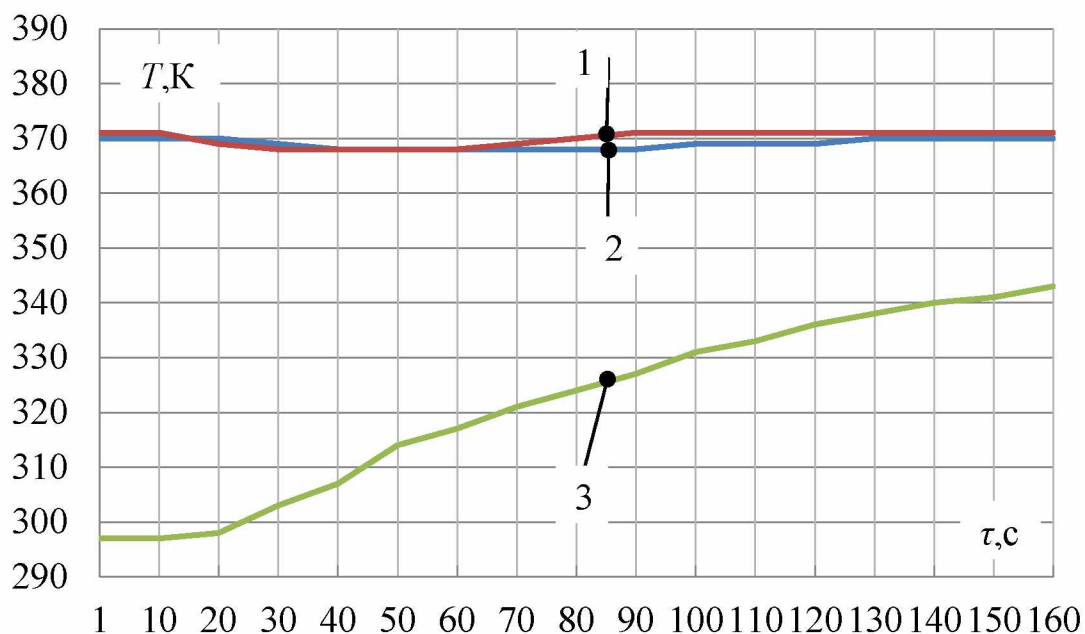


Рисунок 3.1 – Зміна температури на поверхнях нагріву і в центрі досліджуваного зразка м'яса з ВВСТ:

1 – температура верхньої поверхні; 2 – температура нижньої поверхні; 3 – температура в центрі м'яса.

Як видно з рис. 3.1, температура в центрі м'яса починає рости лінійно з 20 по 140 с термічного оброблення.

### 3.2 Результати досліджень якості готових виробів з м'яса

#### 3.2.1 Результати досліджень якості виробів з м'яса за фізико-хімічними показниками

Якість готових виробів оцінювалась за активною кислотністю та ніжністю, за методикою, наведеною в п. п. 2.5.1.

Результати експериментальних досліджень із визначення впливу термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide на активну кислотність готових виробів в табл. 3.2.

Отримані результати свідчать про те, що після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide активна кислотність рН готових виробів збільшується від 6,22 до 7,21.

Збільшення активної кислотності позитивно впливає на якість м'ясних виробів. Під час збільшення рН збільшується вологоутримуюча здатність сировини [59]. Також під час збільшенні активної кислотності підвищується і активність води [60], високий показник якої запобігає окисленню жирів, неферментативному потемнінню, псуванню, викликаному ферментами [61]. Збільшення активної кислотності призводить до кращої гідратації білків і більшого переходу колагену в глютин, що покращує структурні властивості готового виробу [62].

Таблиця 3.2 – Результати визначення активної кислотності дослідних зразків

Спосіб оброблення	Активна кислотність виробів, (рН)
М'ясо сире (контроль)	6,22
Після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide	7,21
Після варення протягом 3600 с	6,61

Результати дослідження впливу термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide на ніжність готових виробів зі свинини за методикою, наведеною в п. п. 2.5.2. наведені в табл. 3.3 і на рис. 3.2.

Таблиця 3.3 – Результати визначення ніжності готових виробів

Спосіб оброблення	Опір розрізування, Н/м
М'ясо сире	37,24
Після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide	19,6
Після варення протягом 3600 с	29,4

Аналіз отриманих результатів показує, що після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide призводить до поліпшення ніжності готових виробів порівняно із варенням у 1,5 рази, що свідчить про більший відсоток переходу колагену в глютин. Це підтверджується дослідженням активної кислотності.

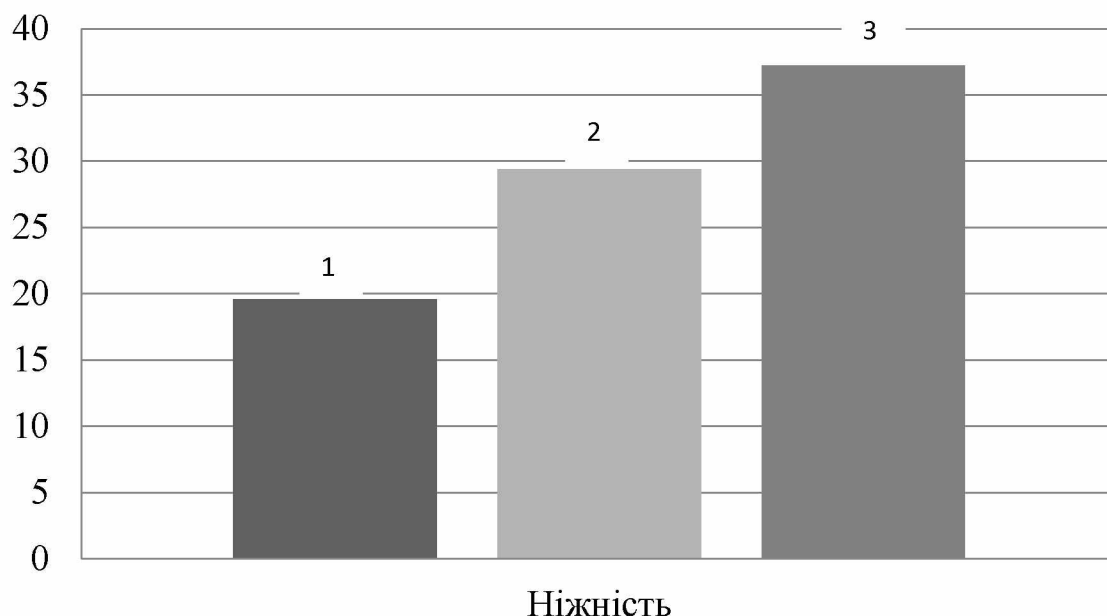


Рисунок 3.2 – Ніжність готових виробів:

1 – після термічної обробки м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide; 2 – після варіння протягом 3600 с; 3 - м'ясо сире

### 3.2.2 Результати досліджень якості виробів з м'яса за мікробіологічними показниками

Якість готових виробів оцінювалась за вмістом патогенної мікрофлори (бактерій групи кишкової палички), кількістю колонієутворюючих одиниць (КУО) МАФМ та кількістю дріжджових й цвільних грибів в 1 г.

Результати досліджень якості напівфабрикатів, сирого м'яса, готових виробів після варення протягом 3600 с та термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide: температура поверхонь термічного оброблення – не вище 373 К, температура в середині м'яса 343. за мікробіологічними показниками наведені в табл. 3.4.

Дані табл. 3.4 засвідчують повну відсутність патогенних, хвороботворних мікроорганізмів та дріжджових й цвілевих грибів, наявність яких не допускається як у сирому, так і в термічно обробленому м'ясі [54, 55].

Установлено, що кількість КУО МАФМ в 1 г напівфабрикату становить  $8,8 \cdot 10^2$ , що в допустимій нормі ( $1 \cdot 10^3$  в 1 г) [53]. Варення і термічне оброблення

м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide приводить цей показник до допустимої для споживання людиною норми – не більше  $1 \cdot 10^3$  в 1 г [53], і становить  $4,9 \cdot 10^2$  та  $6,2 \cdot 10^2$  в 1 г відповідно.

Таблиця 3.4 – Результати дослідження якості готових виробів з вареного, термічно обробленого м'яса з використанням технології Sous Vide і сирого м'яса за мікробіологічними показниками

Санітарно-бактеріологічна характеристика	Назва зразка					
	М'ясо сире		Після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide		Після варення протягом 3600 с	
	норматив	фактично	норматив	фактично	норматив	фактично
МАФAM, КУО в 1 г	не більше $1 \cdot 10^3$	$8,8 \cdot 10^2$	не більше $1 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^2$	не більше $1 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^2$
БГКП в 1 г	не допуск.	не виявлено	не допуск.	не виявлено	не допуск.	не виявлено
Дріжджі й цвілеві гриби	не нормуються	не виявлено	не нормуються	не виявлено	не нормуються	не виявлено

Також проводились дослідження після 3 діб зберігання для сирого м'яса і готових виробів після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide, дані наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати дослідження якості готових виробів з термічно обробленого м'яса з використанням технології Sous Vide і сирого м'яса за мікробіологічними показниками після 3 діб зберігання

Санітарно-бактеріологічна характеристика	Назва зразка			
	М'ясо сире		Після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide	
	норматив	фактично	норматив	фактично
МАФAM, КУО в 1 г	не більше $1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^3$	не більше $1 \cdot 10^3$	$7,0 \cdot 10^2$
БГКП в 1 г	не допуск.	не виявлено	не допуск.	не виявлено
Дріжджі й цвілеві гриби	не нормуються	не виявлено	не нормуються	не виявлено

Дані табл. 3.4, також засвідчують про повну відсутність патогенних, хвороботворних мікроорганізмів та дріжджових й цвільних грибів наявність яких не допускається як у сирому, так і в термічно обробленому м'ясі [54, 55].

Установлено, що кількість КУО МАФAM в 1 г напівфабрикату, після 3 діб зберігання, становить  $1 \cdot 10^3$ , що допустимій нормі [53]. Кількість КУО МАФAM в 1 г термічно обробленого м'яса з ВВСТ з використанням технології Sous Vide після 3 діб зберігання також в допустимій нормі і становить  $7,0 \cdot 10^2$  в 1 г.

### 3.2.3 Результати досліджень якості виробів з м'яса за органолептичними показниками

Якість виробів після обсмажування оцінювали органолептично за 5-бальною системою оцінки за наступними показниками: зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція, соковитість, смак з урахуванням коефіцієнту вагомості кожного показника. Через поставлену мету найбільш вагомим показником з коефіцієнтом вагомості 0,5 була консистенція (ніжність).

Результати органолептичної оцінки якості виробів з м'яса з ВВСТ після термічної обробки у вакуумованих пакетах наведені в табл. 3.6. У якості контрольного зразка використовувалися вироби з м'яса з ВВСТ, отримані варенням протягом 3600 с.

Таблиця 3.6 – Результати органолептичної оцінки якості виробів з м'яса з ВВСТ після термічного оброблення у вакуумних пакетах

Органолептичні показники	Коефіцієнт вагомості	Після варення протягом 3600 с	Після термічного оброблення м'яса з ВВСТ
Зовнішній вигляд	0,1	4	4
Колір	0,1	4	5
Запах, аромат	0,1	5	5
Консистенція	0,5	4	5
Смак	0,1	4	5
Соковитість	0,1	3	4
Середній бал	1	4	4,8

М'ясо після варіння варення протягом 3600 с має трохи деформовану форму із-за великої кількості сполучної тканини, поверхня виробу сіра, запах ядро

виражений, притаманний вареному м'ясу, консистенція ніжна але недостатньо, м'ясо достатньо смачне і не достатньо соковите. Середній бал 4.

М'ясо після термічного оброблення з використанням технології Sous Vide має трохи приплюснуту форму внаслідок імпульсного стиснення, поверхня виробу світло-сіра, запах ярко виражений, притаманний вареному м'ясу, консистенція ніжна, добре розжовується, м'ясо дуже смачне і соковите. Середні бал 4,8.

### 3.3 Принципова схема апарату для обсмажування виробів з м'яса у вакуумних термопакетах

Для виконання магістерської роботи була розроблена принципова схема пристрою для обсмажування виробів з м'яса в умовах стиснення (рис. 3.3).

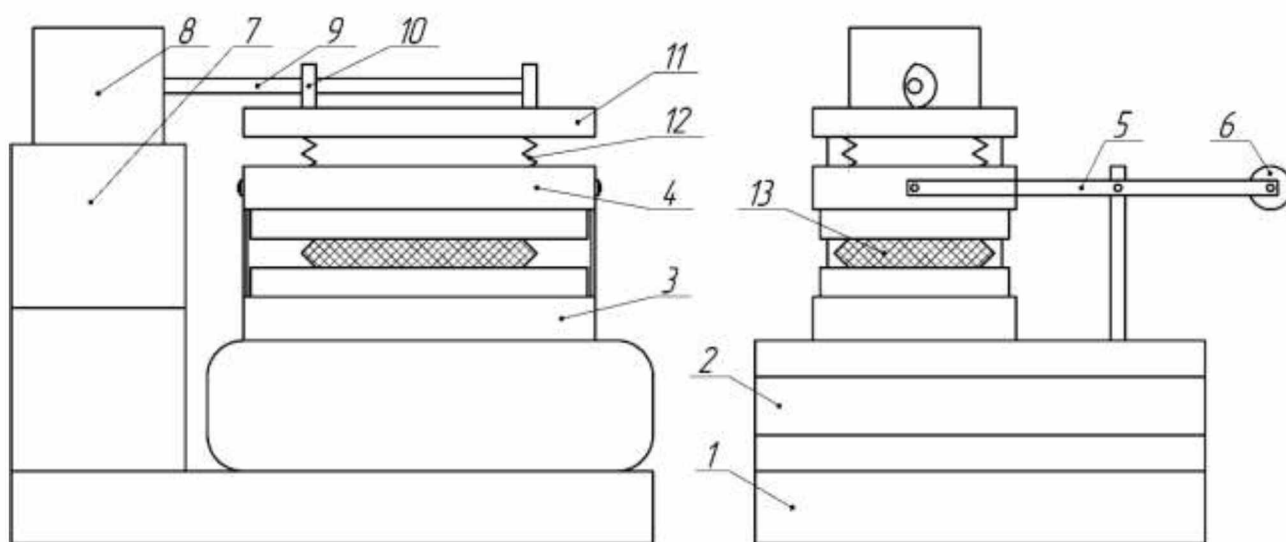


Рисунок 3.3 – Принципова схема пристрою для термічної обробки виробів з м'яса в умовах імпульсного стиснення:

1 – платформа; 2 – каркас; 3 – нижня жарочна поверхня; 4 – верхня жарочна поверхня; 5 – держак; 6 – важіль; 7 – циліндр; 8 – електродвигун; 9 – вал; 10 – ексцентрик; 11 – пружина; 12 – поверхня для передачі імпульсного стиснення; 13 – дослідний зразок м'яса з ВВСТ.

Сутність принципової схеми полягає в тому, що до пристрою для двостороннього жарення харчових продуктів під тиском [63] на верхню жарочну поверхню встановлений пристрій для створення імпульсного стиснення.

Пристрій для термічної обробки виробів з м'яса з ВВСТ і умовах імпульсного стиснення складається з платформи 1 на якому нерухомо закріплені пристрій для двостороннього жарення харчових продуктів під тиском та пристрій для створення імпульсного стиснення. Пристрій для двостороннього жарення складається з каркасу 2 на якому знаходиться нижня жарочна поверхня 3. Верхня жарочна поверхня 4 за допомогою держака 5 і важеля 6 може переміщуватись у вертикальній площині.

Пристрій для створення імпульсного стиснення складається з рухомого в горизонтальній площині циліндру 7 на якому закріплений електродвигун 8, який рухає вал 9 на якому закріпленні два ексцентрика 10. На верхню жарочну поверхню 4 на чотирьох пружинах 11 встановлюється поверхня для передачі імпульсного стиснення 12, на дослідний зразок м'яса з ВВСТ 13, який створюється ексцентриками 10.

### **3.4 Висновки за третім розділом**

1. Результати досліджень впливу імпульсного стиснення виробів з м'яса з у вакуумних термопакетах показали значне скорочення тривалості процесу термічного оброблення 160 с, низьку питому витрату електроенергії 0,135 кВт·год./кг та високий вихід готового продукту 90,1 % в порівнянні з традиційною технологією *Sous Vide*.

2. Активна кислотність після термічного оброблення м'яса з ВВСТ з використанням технології *Sous Vide* була вищою ніж у вареного м'яса протягом 3600 с – 7,21 та 6,61 відповідно. Підвищення активної кислотності свідчить про покращення структурних властивостей м'яса, підвищення волого утримуючої здатності, більшого переходу колагену в глютин.

3. Ніжність м'яса з ВВСТ після термічного оброблення з використанням технології *Sous Vide* була краще на 33,37 % порівняно з вареним м'ясом протягом 3600 с, а порівняно з сирим на 47,37 %.

4. За мікробіологічними показниками якість м'яса задовільна. У сирому і термічно обробленому м'ясі після приготування і протягом 3 діб не було виявлено

патогенних мікроорганізмів групи БГКП, дріжкових і цвільних грибів. Кількість КУО МАФМ на задовільному рівні у сирому і термічно обробленому м'ясі після приготування і протягом 3 діб.

5. Результати органолептичної оцінки показали що м'ясо з ВВСТ після термічного оброблення з використанням технології Sous Vide має показники не нижче чим у вареного, 4,8 і 4 бали відповідно. Варене м'ясо поступається по таким показникам: колір, консистенція, смак.

6. Розроблено принципову схему пристрою для термічного оброблення виробів з м'яса з великим вмістом сполучної тканини в умовах імпульсного стиснення. Описано принцип його роботи і будова.

## 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩО ДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.3 Техніко-економічна оцінка результатів досліджень

Внаслідок проведених експериментальних досліджень була розроблена принципова схема апарата для обсмажування м'ясної сировини у вакуумних термопакетів.

У ході проведення досліджень в лабораторних умовах на експериментальному стенді дослідно-експериментального зразку апарата для обсмажування визначені наступні техніко-економічні показники удосконаленого процесу обсмажування м'ясної сировини у вакуумних термопакетах:

- питома витрата електроенергії на рівні 0,135 кВт·год./кг готової продукції;
- вихід готового продукту на рівні 90,1%;
- питома поверхнева потужність поверхонь нагрівання 47500 Вт/м<sup>2</sup>.

Дані показники знаходяться на рівні апаратів для кондуктивного жарення м'ясної сировини, запропонованих авторами [13], але в таких апаратах використовується лише високосортна сировина.

Використання сировини – яловичини першого і навіть другого сортів – значно здешевлює собівартість 1 кг готової продукції. Так, за вартості 1 кг яловичини вищого сорту на ринку м. Полтава (на 01.10.2021 р. 180,00 грн.), використання для тієї ж мети яловичини другого сорту вартістю за 1 кг 130,00 грн. дає економію за сировиною  $E_c = 50,00$  грн./кг або 50000,00 грн./т та аналогічну економію за готовим продуктом.

Собівартість обжарювання включає витрати електроенергії, витрати на вакуумування термопакетів, вартість самих термопакетів та витрати ручної праці працівників переробного цеху.

Вартість 1 кВт·год. електроенергії на 01.10.2021 р. становить відповідно до постанов НКРЕКП від 13.06.2016р.№ 1129 «Про затвердження Порядку ринкового формування роздрібних тарифів на електричну енергію, що відпускається споживачам», від 24.04.2017р. № 538 «Про ринкове формування роздрібних тарифів

на електричну енергію, що відпускається для кожного класу споживачів, крім населення, на території України», від 13.04.2017 № 512 «Про затвердження Порядку розрахунку роздрібних тарифів на електричну енергію, тарифів на розподіл електричної енергії (передачу електричної енергії місцевими (локальними) електромережами), тарифів на постачання електричної енергії за регульованим тарифом» із змінами та доповненнями та від 26.02.2015р. № 220 «Про встановлення тарифів на електроенергію, що відпускається населенню» тарифи на електричну енергію для споживачів I класу з 4 кварталу 2018 року 2,12779 грн. [69].

Таким чином, вартість електроенергії на обсмажування 1 т готових виробів буде складати  $V_{\text{ел.ен.об}} = 287,26$  грн.

Вартість електроенергії на вакуумування термопакетів з м'ясною сировиною за витрати електроенергії на 1 термопакет з 0,5 кг напівфабрикатів з м'ясної сировини 0,0044 кВт·год [70 ]на 1 т готових виробів складе  $V_{\text{ел.ен.вак.}} = 8,01 \text{ кВт} \cdot \text{год.} \times 2,12779 = 17,04$  грн.

Вартість термопакетів в Україні – 386,00 грн. за 200 шт. [70]. Для отримання 1 т обсмажених виробів за умови розміщення в кожному 0,5 кг напівфабрикатів з виходом готового продукту 90,1% потрібно 2181 термопакетів, вартість яких складає  $V_{\text{тп}} = 4209,33$  грн.

Таким чином, загальний економічний ефект  $E$  за умови впровадження запропонованого удосконаленого процесу обсмажування м'ясної сировини на 1 т готової продукції складає

$$\begin{aligned} E &= E_c - V_{\text{ел.ен.об}} - V_{\text{ел.ен.вак.}} - V_{\text{тп}} = 50000,00 - 287,26 - 17,04 - 4209,33 = \\ &= 45486,37 \text{ грн.} \end{aligned}$$

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного аналізу існуючих процесів обсмажування м'ясної сировини сформульовано технологічні вимоги до процесу та обладнання для термічної обробки м'яса, в т.ч. з ВВСТ, які полягають у використанні вакуумного термопакету, підвищенні температурного рівня процесу до 373 К, зниженні тривалості обсмажування, виключенні контакту з жиром і збереженні рідини в поверхневих шарах виробу під час обсмажування; деталізовані технологічні вимоги до процесу термічного оброблення м'яса з ВВСТ, які полягають у забезпеченні якомога більш щільного контакту поверхні виробу з поверхнею нагрівання, максимальному збереженні початкової вологи м'яса в процесі обсмажування, кількості якої цілком достатньо для подальшого перетворення колагену в глютин.

2. Обґрунтовано аналітичну модель процесу обсмажування м'ясної сировини, в т.ч. і з ВВСТ, у вакуумних термопакетах. Запропоновано поділ цих процесів за тривалістю на дві основні стадії, з яких найбільш значущою в енергетичних витратах є друга, під час якої передача теплоти в поверхневих шарах виробу здійснюється через парові прошарки, і закінчується за температури у центрі напівфабрикату близько 353...355 К, коли м'ясо з в'язкопластичних набуває властивостей, притаманних твердому тілу, через закінчення теплових перетворень білків, що входять у склад м'яса.

3. На основі проведених досліджень процесу обсмажування м'яса, в т.ч. і з ВВСТ, у вакуумних термопакетах встановлені раціональні параметри процесу (температура поверхонь 373 К, поверхня в середині виробу 343, початковий тиск у вакуумному термопакеті 10 кПа, імпульсне стиснення з частотою 1/1с і тиском 11,5 кПа), які дозволяють отримати готовий продукт з максимальним виходом 90,1% та з мінімальною тривалістю процесу обсмажування 160 с і питомою витратою електроенергії 0,135 кВт·год./кг.

6. В результаті досліджень процесу обсмажування м'яса, в т.ч. з ВВСТ у вакуумних термопакетах:

- встановлено, що активна кислотність після обсмажування м'яса, в т.ч. з ВВСТ, у вакуумних термопакетах була вищою, ніж у вареного м'яса протягом 3600 с – 7,21 та 6,61 відповідно, що свідчить про покращення структурних властивостей м'яса, підвищення вологоутримуючої здатності, більшого переходу колагену в глютин.

- встановлено, що ніжність м'яса, в т.ч. з ВВСТ після обсмажування була краще у 1,5 рази порівняно з вареним м'ясом протягом 3600 с, що свідчить про більше ступінь переходу колагену в глютин.

- встановлено, що після приготування і протягом 3 діб у сирому і термічно обробленому готовому виробі за мікробіологічними показниками якість м'яса задовільна, не було виявлено патогенних мікроорганізмів групи БГКП, дріжджових і цвільних грибів, кількість КУО МАФAM на задовільному рівні.

- встановлено, що за результати органолептичної оцінки м'ясо, в т.ч. з ВВСТ, після обсмажування у вакуумних термопакетах має показники не нижче чим вареного, 4,8 і 4 бали відповідно.

7. Розроблена схема апарата для обсмажування м'ясної сировини, в т.ч. з ВВСТ у вакуумних термопакетах. У ході досліджень встановлені: питома витрата електроенергії 0,135 кВт·год./кг; вихід готового продукту 90,1%; питома поверхнева потужність поверхонь нагрівання 47500 Вт/м<sup>2</sup>.

8. Загальний економічний ефект за економією сировини через використання низькосортного м'яса складає 45486,37 грн. на 1 т готової продукції.